

**JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS**

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Rad: 03-004940-0000/-0000
Fec: 2007-05-20 11:30 Dep. 2020 NUEVAS CREACIONES
IND. 11 PATENTES
Ene 3/0 BASE NACIONAL II
Act 444 RESPUESTA REGUE FOLIO: 367

**DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO**

**REF: Expediente No 03.094.940 Solicitud de Registro de Patente de Invención
"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE Y USOS PARA EL" a
nombre de la sociedad JUPITER OXYGEN CORPORATION**

RESPUESTA AL CONCEPTO TECNICO.

EL suscrito vecino de Bogotá D. C., abogado titulado, identificado como aparece al pie de mi firma, actuando como apoderado en este asunto, me refiero al auto No 14893 proferido por ese Despacho notificado por Anotación de Estado de Patentes del 29 de diciembre de 2006, y para dar respuesta a dicho requerimiento, me permito solicitar y adjuntar los siguientes documentos:

UNIDAD de INVENCION.

Objeciones con relación a la Unidad de Invención y reivindicaciones.

Atendiendo los requerimientos del Examinador Técnico de la División de Nuevas Creaciones en cuanto a que los objetos aquí solicitados son varios y que por lo tanto se debe proceder a corregir las reivindicaciones, me permito poner a consideración de su Despacho tal como lo dispone el artículo 36 de la Decisión 486 lo siguiente:

Dividir esta solicitud en cuatro solicitudes así:

- SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTIÓN
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO
- UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y MÉTODO

1) Respecto del SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE me permito adjuntar lo siguiente:

- Nueva Descripción de la Invención en 53 folios
- Nuevas Reivindicaciones 1 a 22 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,436,337 B1

2) Para la nueva solicitud de: METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 07-22,096 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 07-22,099 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 20 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,596,220 B2

3) Para la nueva solicitud de: UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y METODO me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 23,367 del 21 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,098 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 15 inclusive, en 3 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,797,228 B2

4) Para la nueva solicitud de: METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 22,095 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,097 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios

- Reivindicaciones 1 a 7 inclusive, en 3 folio
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,818,176 B2

Finalmente, dando cumplimiento a lo exigido por el Examinador Técnico de Patentes, solicito a su Despacho que se realice la evaluación de los requisitos de patentabilidad y se proceda a **CONCEDER** el privilegio para las patentes de invención tituladas:

"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE",

"METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION",

**"UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y
METODO" y**

**"METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR
ALUMINIO"**

Atentamente,


Fernando Pérez Caballero
C.C. 17.173.340
T.P. 18.531

Bogotá, Marzo 29 de 2007

SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO-COMBUSTIBLE
Y USOS PARA EL

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[001] La presente invención se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible. Más particularmente se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible en el que se reduce la producción de gases invernadero y en el que se reduce el consumo de combustibles fósiles.

[002] Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno son conocidos, sin embargo su uso es bastante limitado. Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno generalmente se usan únicamente en aquellas aplicaciones en las que se requieren temperaturas de llama sumamente altas. Por ejemplo estos sistemas pueden usarse en la industria manufacturera de vidrio para lograr las temperaturas necesarias para fundir el sílice a una temperatura de fusión. Por otra parte, comúnmente se acepta que las limitaciones estructurales y materiales dictan las temperaturas máximas a las cuales pueden ser sometidos los sistemas industriales. Para tal fin, sistemas de combustión alimentados por aire o encendidos por aire se usan en calderas, hornos y similares en casi todas las aplicaciones industriales incluyendo manufactura, generación de energía eléctrica y otras aplicaciones procedimentales.

[003] En particular, los sistemas de combustión alimentados por aire o los sistemas de calentamiento eléctrico se usan en todas las industrias de fabricación de acero y aluminio, así como también en la industria generadora de energía, y en otras industrias basadas en combustibles basados en carbono. En los sistemas alimentados por aire, el aire que está constituido por aproximadamente 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno, se alimenta al horno conjuntamente con combustible. La mezcla aire

combustible se inflama creando una llama. La llama transfiere energía en forma de calor de la mezcla aire combustible al horno.

[004] En las industrias del acero y del aluminio, los hornos alimentados por aire y los hornos eléctrico han sido usados como la fuente primaria de calor para crear metales fundidos. Con respecto a los hornos alimentados por aire, convencionalmente se acepta que los requerimientos de energía, equilibrados contra las limitaciones térmicas del equipo procedimental, exigen o sustentan sólidamente el uso de estos tipos de sistemas de combustión. Respecto al uso de hornos eléctricos en la industria del aluminio, la sabiduría convencional también respalda este tipo de fuente de energía para lograr las temperaturas necesarias para el procesamiento del aluminio.

[005] Un inconveniente en el uso de los sistemas de combustión alimentados por aire es que estos sistemas producen compuestos gaseosos de nitrógeno (NOx) y otros gases invernadero tales como dióxido de carbono, dióxido de azufre y similares como resultado inherente del proceso de combustión. Los NOx y otros gases invernadero son un contribuyente mayor a la contaminación ambiental, la cual incluye, sin limitarse a ella, la lluvia ácida. Como tal, es deseable la reducción de la emisión de NOx y de otros gases invernadero y la emisión ha sido considerablemente limitada como resultado de las restricciones regulatorias. Para tal fin, varios dispositivos tienen que ser instalados en estos sistemas de combustión para limitar y/o reducir los niveles de NOx y de otros gases invernadero producidos.

[006] Otro inconveniente de los hornos alimentados por aire es que mucha de la energía liberada del proceso de combustión es absorbida o usada para calentar el nitrógeno gaseoso presente en el aire que es alimentado al horno. Esta energía se desperdicia esencialmente ya que típicamente el gas de nitró-

geno calentado simplemente es despedido de la fuente de calor, por ejemplo del horno. De este modo parte de los costos de la energía son dirigidos al medio ambiente en forma de un cúmulo de gases de desecho y similares. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán fácilmente otros inconvenientes de los sistemas de combustión alimentados por aire que se conocen.

[007] Los hornos eléctricos también tienen sus inconvenientes. Por ejemplo, algo inherente a estos sistemas es también la necesidad de una fuente de electricidad que esté disponible permanentemente, esencialmente sin interrupción. Debido al hecho de que para el funcionamiento de estos hornos eléctricos se requieren grandes cantidades de energía eléctrica, típicamente es necesario tener ubicados estos hornos eléctricos en la cercanía de las plantas generadoras de energía y/o tener grandes servicios de transmisión eléctrica. Además los hornos eléctricos requieren una considerable cantidad de mantenimiento para garantizar que los hornos funcionen con eficiencia óptima o casi con eficiencia óptima. Además un hecho inherente al uso de hornos eléctricos es la ineficiencia en convertir un combustible en energía eléctrica (la mayoría de las estaciones de energía alimentadas por combustibles fósiles que usan turbinas de vapor funcionan a niveles de eficiencia menores de aproximadamente 40 por ciento y generalmente menores de aproximadamente 30 por ciento). Además estas grandes estaciones alimentadas por combustibles fósiles producen cantidades sumamente grandes de NOx y de otros gases invernadero.

[008] Por ejemplo en la industria procesadora de aluminio y más específicamente en la industria de recuperación de retal de aluminio, la sabiduría convencional dice que las temperaturas de llama en los hornos deben ser mantenidas entre aproximadamente 1371°C y 1649°C. Se cree que en este ámbito de temperatura se logra un equilibrio entre la energía necesaria para proporcionar suficiente calor para fundir el retal de alu-

minio y mantener temperaturas apropiadas del metal en el baño fundido a aproximadamente 788°C. Los hornos conocidos utilizan un diseño en el que las temperaturas de llama típicamente no superan 1649°C para garantizar el mantenimiento de la integridad estructural de estos hornos. Es decir, se cree que sobrepasar estos límites de temperatura puede debilitar la estructura de soporte del horno y, así, resultar en accidentes catastróficos. Además, las temperaturas de escape para hornos convencionales son por lo general aproximadamente 871°C. Así, la diferencia de temperatura entre la llama y el escape es tan solo aproximadamente 760°C. Esto resulta en un ineficiente uso de la energía para el proceso de combustión.

[009] Se cree también que las pérdidas de energía y el potencial daño al equipo de hornos en los que las temperaturas de llama sobrepasan aproximadamente 1649°C superan con creces cualquier eficiencia de funcionamiento que se pueda alcanzar mediante más altas temperaturas de llama. Así, de nuevo la sabiduría convención respalda totalmente el uso de hornos alimentados por aire en los que las temperaturas de llama están en un límite superior de aproximadamente 1649 °C (por estequiometría de llama) que garantiza la integridad del horno y reduce las pérdidas de energía.

[010] Por consiguiente, existe una necesidad de un sistema de combustión que proporcione las ventajas de reducir la contaminación ambiental (atribuible al NOx y a otros gases invernadero) y al mismo tiempo proporcione un uso eficiente de la energía. Es deseable que tal sistema de combustión se pueda usar en una amplia variedad de aplicaciones industriales, desde la industria generadora de energía hasta las industrias procesadoras químicas, la producción y el procesamiento de metales, etc. Tal sistema de combustión se puede usar en aplicaciones de procesamiento de metales, por ejemplo aluminio, en los que el sistema de combustión proporciona mayor eficiencia energética y menor contaminación. También existe una necesidad

(específicamente en la industria procesadora de retal de aluminio) de equipos de procesamiento (específicamente hornos) que estén diseñados y configurados para resistir elevadas temperaturas de llama asociadas con dicho eficiente sistema de combustión y para aumentar la eficiencia energética y reducir la producción de contaminación.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

[011] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible incluye un horno que tiene un medio ambiente controlado e incluye al menos un quemador. El sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una pureza predeterminada y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono. El presente sistema de combustión aumenta la eficiencia del combustible consumido (es decir requiere menos combustible), produce cero NOx (a no ser el contenido por las fuentes combustibles) y significativamente menos otros gases invernadero.

[012] El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[013] El sistema de combustión preferiblemente incluye un sistema de control para controlar el abastecimiento del combustible basado en carbono y para controlar el abastecimiento de oxígeno al horno. En el sistema de control, el abastecimiento de combustible sigue al abastecimiento de oxígeno al horno. El abastecimiento de oxígeno y de combustible es controlado por la temperatura predeterminada del aluminio fundi-

do. En este arreglo, un sensor detecta la temperatura del aluminio fundido.

[014] El combustible basado en carbono puede ser cualquier tipo de combustible. En una forma de realización el combustible es un gas tal como gas natural, metano, etc. Alternativamente el combustible es un combustible sólido tal como carbón o polvo de carbón. Y alternativamente el combustible es un combustible líquido tal como fuel-oil, incluyendo petróleos de desecho.

[015] En un uso a modo de ejemplo, el sistema de combustión se usa en un sistema de recuperación de retal de aluminio para recuperar aluminio del retal. Tal sistema incluye un horno para contener el aluminio fundido a una temperatura predeterminada, el cual tiene al menos un quemador. El sistema de recuperación incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno al horno mediante el sistema de combustión. Para lograr la máxima eficiencia, el abastecimiento de oxígeno tiene una pureza de oxígeno de al menos aproximadamente 85 por ciento.

[016] Un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece un combustible basado en carbono. El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[017] En tal sistema de recuperación, la combustión del oxígeno y del combustible crea energía que se usa para recuperar aluminio del retal a una tasa de aproximadamente 2519 Joules por kg de aluminio recuperado. El combustible puede ser un gas

tal como gas natural, o puede ser un combustible sólido o un combustible líquido.

[018] En el sistema de recuperación el calor del horno puede ser recuperado en un sistema de recuperación de calor de desecho. El calor recuperado puede ser convertido en energía eléctrica.

[019] En un sistema muy preferido el sistema de combustión incluye un sistema para proporcionar oxígeno. Un sistema tal separa el aire en oxígeno y nitrógeno, tal como un sistema de separación criogénico. Otros sistemas incluyen separación de membranas y similares. El oxígeno también puede ser abastecido mediante la separación de agua en oxígeno e hidrógeno. En tales sistemas el oxígeno se puede almacenar para ser usado a medida que se necesita. Se conocen otros sistemas para generación/separación de oxígeno.

[020] El sistema de combustión de oxígeno-combustible se puede usar generalmente con cualquier horno que tenga un medio ambiente controlado. Esto es con cualquier horno que substancialmente no tenga fuga alguna desde el medio ambiente exterior al interior. Tal sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una determinada pureza y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono.

[021] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible basado en carbono son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. En tal horno, una corriente de gas de escape del horno tiene substancialmente cero compuestos gaseosos producidos por la combustión que contengan nitrógeno. Esto es, como no se alimenta nitrógeno con el combustible, a menos que el combustible contenga nitrógeno, el gas de escape substancialmente no

H
22d

contiene productos de combustión que contengan nitrógeno (es decir NOx) y niveles significativamente reducidos de otros gases invernadero.

[022] Este sistema de combustión puede usar cualquier combustible basado en carbono, incluyendo gas como gas natural o metano, cualquier combustible sólido como carbón o polvo de carbón, o cualquier combustible líquido como petróleo, incluyendo petróleos de desecho refinados. En tal sistema de combustión los compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión se forman a partir del nitrógeno contenido en el combustible.

[023] Un método para recuperar aluminio del retal incluye alimentar retal de aluminio en un horno de fusión y someter a combustión en el horno oxígeno y combustible basado en carbono. En la combustión de oxígeno y combustible, el oxígeno y el combustible son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[024] El aluminio se funde en el horno, el aluminio cargado de contaminantes se retira del horno y el aluminio fundido substancialmente puro se descarga del horno. El método puede incluir el paso de recuperar el aluminio del aluminio cargado de contaminantes, es decir escoria, y cargar en el horno el aluminio recuperado.

[025] El método puede incluir recuperar el calor de desecho del horno. El calor de desecho recuperado puede ser convertido en electricidad.

[026] Un horno para recuperar aluminio del retal de aluminio incluye una región de baño para el aluminio fundido contenido a una temperatura predeterminada y al menos un quemador. Un abastecimiento de oxígeno abastece oxígeno de una pureza mínima de aproximadamente 85 por ciento, y un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece combustible tal como gas natural, carbón, petróleo, etc.

[027] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible se alimentan al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[028] En una forma de realización el horno está formado de placa de acero, vigas de acero y materiales refractarios. La paredes del horno están configuradas con una viga de acero y armazón de placa, al menos una capa de material aislante prensable, al menos una capa de ladrillo refractario y al menos una capa de material refractario moldeable. El piso del horno está configurado con una viga de acero y armazón de placa y al menos dos capas de material refractario, siendo al menos una de las capas de material refractario moldeable.

[029] También se revela un método que no usa sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria, método que incluye los pasos de introducir al horno el aluminio cargado de escoria. El horno tienen un sistema de combustión de combustible de oxígeno que produce una temperatura de llama de aproximadamente 2760°C y no tiene substancialmente exceso de oxígeno. El aluminio cargado de escoria se funde dentro del horno.

[030] Una porción superior del aluminio cargado de escoria fundido se quita ("se desnata") para producir un producto

fuertemente cargado de escoria. El producto fuertemente cargado de escoria se prensa en una prensa mecánica para separar el aluminio del producto fuertemente cargado de escoria y producir un producto concentrado fuertemente cargado de escoria. El método puede incluir el paso de retornar al horno el producto concentrado fuertemente cargado de escoria. La introducción al horno del aluminio cargado de escoria se efectúa bajo incidencia directa cercana de la llama con el fin de liberar los óxidos de la escoria.

[031] Esta y otras ventajas de la presente invención se harán evidentes en la siguiente descripción detallada conjuntamente con las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[032] Los beneficios y las ventajas de la presente invención se harán más fácilmente evidentes para las personas de conocimiento corriente de la técnica relevante luego de examinar la siguiente descripción detallada y las figuras adjuntas.

[033] La FIG. 1 es una esquema general de flujo de un ejemplo de un proceso de recuperación de retal de aluminio que tiene un horno de fusión con un sistema de combustión de oxígeno-combustible, en el cual se han reducido la producción de gases invernadero y el consumo de combustible, sistema el cual incorpora los principios de la presente invención;

[034] La FIG. 2 es un esquema general de flujo de una operación de procesamiento de escoria y continuación de la FIG. 1 que tiene un horno de recuperación que tiene un sistema de combustión de oxígeno-combustible incorporando los principios de la presente invención;

[035] La FIG. 3 es un ejemplo de un tren de abastecimiento de gas natural y un tren de abastecimiento de oxígeno para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

[036] La FIG. 4 es un esquema general de planta que muestra el abastecimiento de oxígeno de una planta criogénica, y el flujo a los hornos, y además ilustra un ejemplo de una planta de recuperación de calor de desecho;

[037] La FIG. 5 es una ilustración esquemática de un horno de fundición de aluminio para usar con un sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con los principios de la presente invención;

[038] La FIG. 6 es una vista lateral del horno de la FIG. 5;

[039] La FIG. 7 es una vista frontal del horno de la FIG. 6;

[040] Las FIGS. 8 y 9 son ilustraciones parciales de sección transversal de una pared lateral y del piso del horno respectivamente;

[041] La FIG. 10 ilustra un ensamblaje quemador para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

[042] La FIG. 11 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema de control para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible de la presente invención;

[043] La FIG. 12 es una vista esquemática de un ejemplo de una pared de una caldera de energía u horno que ilustra un quemador y un arreglo alimentado por aire y muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención;

[044] La FIG. 13 es una ilustración esquemática de un incinerador de desechos que muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

[045] Si bien la presente invención puede ser realizada en diferentes formas, en las figuras se muestra y en adelante se

describirá una forma de realización preferida, entendiéndose que la presente revelación ha de ser considerada como una ejemplificación de la invención y no tiene el propósito de limitar la invención a la forma de realización ilustrada. Se ha de entender además que el título de esta sección, "Descripción Detallada de la Invención", se refiere al requisito de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos y no implica ni se debe inferir una limitación al asunto revelado aquí.

[046] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible usa esencialmente oxígeno puro en combinación con una fuente de combustible para producir calor mediante producción de llama (es decir combustión) de una manera eficiente no-adversa en términos medio-ambientales. Se puede usar oxígeno, que es abastecido por un agente oxidante, en una concentración de aproximadamente 85 por ciento a 99+ por ciento, sin embargo es preferible tener una concentración de oxígeno (es decir una pureza de abastecimiento de oxígeno) tal alta como sea posible. En tal sistema, oxígeno de alta pureza se alimenta, conjuntamente con la fuente de combustible en proporciones estequiométricas, a un quemador en un horno. El oxígeno y el combustible se ponen en combustión para liberar la energía almacenada en el combustible. Para los propósitos de la presente revelación, la referencia al horno se ha de interpretar en términos amplios para que incluya cualquier generador de calor industrial o comercial que haga combustir combustibles fósiles (basados en carbono). En un sistema preferido la concentración o la pureza del oxígeno es tal alta como sea posible con el fin de reducir la producción de gases invernadero.

[047] Se ha contemplado que se pueda usar esencialmente cualquier fuente de combustible. Por ejemplo, en una aplicación presente, como se describirá abajo en más detalle, el oxígeno es alimentado conjuntamente con gas natural para la combustión en el horno. Otras fuentes de combustible contempladas incluyen petróleos refinados y de desecho, madera, car-

76
229

bón, polvo de carbón, desechos de basura, etc. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán las miríadas de fuentes de combustible que se pueden usar con el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible.

[048] El presente sistema se aparta de los procesos convencionales en dos áreas principales. Primero, los procesos de combustión convencionales usan para la combustión aire (como agente oxidante para abastecer oxígeno) y no oxígeno esencialmente puro. En la combustión se usa el componente de oxígeno en el aire (aproximadamente 21 por ciento), mientras que los restantes componentes (esencialmente nitrógeno) son calentados en el horno y expulsados de él. Segundo, el presente proceso usa oxígeno en una proporción estequiométrica respecto al combustible. Es decir únicamente se alimenta suficiente oxígeno en proporción al combustible para garantizar la completa combustión del combustible. Así, no se alimenta "exceso" de oxígeno al sistema de combustión.

[049] Usando el presente sistema de combustión se logran muchas ventajas y beneficios. Tal como se describirá abajo, se ha observado que el consumo de combustible para producir una cantidad equivalente de energía o de calor se reduce en ciertas aplicaciones hasta en un 70 por ciento. Significativamente esto puede proporcionar una tremenda reducción en la cantidad de contaminación resultante. También, en ciertas aplicaciones, la emisión de NOx puede reducirse esencialmente a cero y la emisión de otros gases invernadero puede ser reducida hasta en un 70 por ciento respecto a sistemas de combustión convencionales alimentados por aire.

Un Ejemplo de Proceso de Recuperación de Aluminio del Retal

[050] En un uso específico, el sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa en una planta 10 de recuperación de aluminio del retal. En las FIGS. 1 y 2 se ilustra un proceso de flujo de un ejemplo de planta. Retal de aluminio, general-

- 17
280

mente señalado como 12, se alimenta al horno de fusión 14 y se licúa. La planta 10 puede incluir múltiples hornos que operan en paralelo 14, uno de los cuales se ilustra. El aluminio licuado o fundido se retira del horno de fusión 14 y se alimenta a un horno de almacenamiento temporal 16. El horno de almacenamiento temporal 16 también es un horno de oxígeno-combustible. El aluminio fundido se retira del horno de fusión 14 a medida que va siendo necesario para mantener cierto nivel predeterminado en el horno de almacenamiento temporal 16. Esto puede resultar en un continuo retiro del horno de fusión 14 o retiro en "lotes" según se requiera.

[051] Al horno de almacenamiento temporal 16 se alimentan cloro y nitrógeno (como gas) según se indica en 18 y 20 respectivamente con el fin de facilitar el retiro de las impurezas del aluminio fundido. El cloro y el nitrógeno funcionan como agente gaseoso de flujo para retirar las impurezas del aluminio. Esto también se puede efectuar en los hornos de fusión 14 para aumentar la limpieza del retal aceitoso y sucio. Otros agentes de flujo contemplados incluyen hexafluoruro de argón gaseoso. El horno de almacenamiento temporal 16 se calienta activamente y funciona a una temperatura de metal fundido de aproximadamente 704°C. La temperatura del aire en el horno de almacenamiento temporal 16 es levemente más alta.

[052] Luego se filtra el aluminio fundido. Ahora se usa un filtro particulado 22 tipo bolsa. No obstante se conocen otros tipos de filtros y se pueden usar. El aluminio fundido filtrado se alimenta luego a través de un desgasificador 24.

[053] En el desgasificador 24 se alimenta un agente de flujo, tal como un gas inerte (de nuevo se usa nitrógeno, según se indica en 26) al aluminio fundido. Se agita el aluminio fundido, por ejemplo mediante un agitador mecánico 28 y el agente de flujo 26 burbujea hacia arriba a través del aluminio

fundido para eliminar las impurezas (por ejemplo óxidos) del aluminio.

[054] Después el aluminio fundido se alimenta en un moldeador 30 en línea. En el moldeador 30 el aluminio es moldeado para formar una placa continua. El espesor del molde puede ser de 0,0254 cm hasta 1,905 cm o más. Luego el aluminio puede ser enrollado como se indica en 32 para ser usado o para ser procesado adicionalmente. En un presente método el aluminio pasa desde el moldeador 30 a través de un par de rectificadoras 34 calientes en donde la placa es laminada para que tenga un espesor final o calibre de aproximadamente 0,21 cm (82 mils) y luego se enrolla para formar el rollo 32. Las personas con experiencia en este campo de la técnica entenderán y apreciarán los varios procesos de formación y terminado final que se le pueden efectuar al metal. Todos esos procesos de formación y terminado están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[055] Volviendo ahora al horno de fusión 14, éste es un horno de oxígeno-combustible. El es alimentado con un combustible basado en carbono, por ejemplo gas natural, en proporción estequiométrica con oxígeno. Esto se diferencia de los hornos conocidos que usan mezclas de aire y combustible. Las mezclas de combustible y aire alimentan tanto nitrógeno como oxígeno al horno para respaldar el proceso de combustión. Esto resulta en la producción de gases de desecho de NOx indeseables. Además, el nitrógeno también absorbe energía del aluminio fundido, reduciendo entonces la eficiencia total del proceso. O sea que debido a que el porcentaje de nitrógeno en el aire es tan grande, una gran cantidad de energía se va calentado el nitrógeno y no el aluminio.

[056] Las proporciones oxígeno:gas natural en los presentes hornos de fusión y de almacenamiento 14 y 16 son aproximadamente 2,36:1. Esta proporción variará dependiendo de la pureza

del abastecimiento de oxígeno y de la naturaleza del combustible. Por ejemplo, bajo condiciones perfectas de oxígeno 100 por ciento puro se calcula teóricamente que la proporción sea 2,056:1. Sin embargo, el abastecimiento de oxígeno puede tener hasta aproximadamente 15 por ciento de constituyentes que son no-oxígeno y el gas natural no es siempre 100 por ciento puro. Por lo tanto, las personas con experiencia en esta campo de la técnica apreciarán y comprenderán que estas proporciones puede variar levemente, pero la base para calcular las proporciones, o sea las proporciones estequiométricas de combustible y oxígeno, sigue siendo verdadera.

[057] Esta proporción de oxígeno respecto a combustible proporciona varias ventajas. Primero, esta estequiometría proporciona completa combustión del combustible, resultando así en menos monóxido de carbono, NOx y otras emisiones nocivas de gases de desecho (generalmente otros gases invernadero). Además, las proporciones de oxígeno controladas también reducen la cantidad de óxidos presentes en el aluminio fundido. Esto, a su vez, proporciona una mejor calidad del producto de aluminio final y menos procesamiento para eliminar estos contaminantes óxidos indeseables.

[058] Es importante anotar el hecho de que controlar con exactitud la proporción de oxígeno respecto a combustible garantiza la combustión completa del combustible. Esto en absoluto contraste con, por ejemplo, las plantas de energía alimentadas fósilmente (por ejemplo las plantas de energía utilitaria), que luchan con la pérdida de ignición. Esencialmente la pérdida de ignición es equiparable con una combustión incompleta del combustible. En el presente método, por otra parte, el oxígeno substancialmente puro y en proporción estequiométrica estrictamente controlada respecto al combustible minimiza y posiblemente elimina esas pérdidas. Además, en el presente método el único NOx teórico disponible es N Ox contenido por el combustible y no el que de otra manera podría resultar

de la combustión al utilizar aire. Así, si el NOx no es eliminado completamente sí es reducido a una cantidad insignificante en comparación con los sistemas de combustión convencionales.

[059] Los óxidos en el aluminio provienen de dos fuentes principales. Primero, del proceso de combustión; segundo, de óxidos que residen en el aluminio. Esto es así particularmente con retal de bajo grado o con metal primario. El presente proceso toma en consideración estas dos fuentes de óxidos y reduce o elimina su impacto sobre el producto de aluminio final. Primero, el presente proceso reduce los óxidos que se podrían formar como resultado del oxígeno alimentado para la combustión del combustible. Esto se logra controlando rigurosamente el oxígeno alimentado para que sea únicamente el necesario por proporción estequiométrica para la completa combustión del combustible.

[060] El presente proceso toma en consideración la segunda fuente de óxidos (la que reside en el aluminio) y elimina estos óxidos mediante los procesos de desgasificación y filtrado. Los beneficios son de dos. El primero es que se forma menos producto secundario en forma de escoria D; segundo, se mejora grandemente la calidad del producto terminado.

[061] Se ha encontrado también que usar una mezcla de combustible y oxígeno (y no una mezcla de combustible y aire) resulta en temperaturas de llama más altas en el horno de fusión. Usando oxígeno-combustible se logran temperaturas de llama en el horno de aproximadamente 2760°C. Esto representa aproximadamente 816°C a 1093°C más altas que otros hornos conocidos. También se ha observado que usando oxígeno-combustible, conjuntamente con estas temperaturas de llama más elevadas, resulta en un proceso de eficiencia sumamente alta. En una medida de la eficiencia se mide la energía requerida (en Joules) por kg de aluminio procesado. En un proceso cono-

2/
234

cido la energía requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg de producto procesado. En el presente proceso y aparato los requerimientos de energía son considerablemente menores, aproximadamente $2,52 \times 10^6$ J/kg de metal procesado. Hay que anotar también que aunque el "combustible" mencionado arriba en referencia al presente método es gas natural, se puede usar cualquier combustible de base orgánica, por ejemplo petróleo (incluyendo petróleo de desecho), carbón, polvo de carbón, etc.

[062] Para el propósito de entender la termodinámica del proceso, la energía teórica requerida para fundir una kilogramo de aluminio es $1,17 \times 10^6$ J. Sin embargo, debido a que son inherentes ineficiencias específicas al proceso, se encontró que la energía real requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg al usar un sistema de combustión activado por aire. Estas ineficiencias incluyen, por ejemplo, el hecho de que los períodos de procesamiento reales son menores que el tiempo real que el horno está "activado" y otros cambios a lo largo del proceso, tales como aumentos o disminuciones de la anchura de moldeado. Además otras "pérdidas", tales como pérdidas de calor de escape y pérdidas de calor a través de las paredes del horno, se agregan a esta diferencia de energía.

[063] Además, el valor de $2,52 \times 10^6$ J/kg es un requisito de energía promedio, incluso tomando en cuenta estas "pérdidas". Se ha encontrado que cuando el proceso corre a una alta tasa de eficiencia, esto es cuando el aluminio se procesa casi continuamente en vez de mantener el horno "activado" sin procesamiento, el requisito "promedio" de energía se puede reducir hasta aproximadamente $1,74 \times 10^6$ J/kg a $2,1 \times 10^6$ J/kg.

El Horno de fusión

[064] Un presente horno de fusión 14 se construye principalmente de acero y materiales refractarios. Haciendo referencia a las FIGS. 5-9, el armazón 42 del horno tiene dimensiones exteriores de aproximadamente 6,1 m de ancho por 12,2 m de

largo por 3,66 m de altura. La estructura del armazón de acero 42 está formada por placas y vigas. Las placas y las vigas se identifica como 44 y 46 respectivamente para la armazón 42 del horno, excepto si se indica otra cosa distinta. El piso 48 está hecho en placas 44 de acero de 2,54 cm de espesor que están soldadas entre sí. Cada soldadura está sobre una viga 46 para garantizar la integridad del armazón 42 del horno.

[065] Se proporcionan vigas 46 adicionales para soporte del piso 48 del horno. Cada viga 46 proporciona una pestaña de 8 pulgadas de ancha aproximadamente cada 45,7 cm respecto al centro. Todas las vigas 46 (exceptuando las vigas de junta que tienen completamente soldadura de unión) están apuntadas a la placa 50 del piso. Esto permite "crecimiento" en el acero debido a la expansión térmica durante el calentamiento.

[066] Las vigas 46 proporcionan soporte y rigidez al piso 52 del horno. Las vigas 46 mantienen el horno 14 rígido para reducir el flexionamiento durante la instalación del material refractario y durante el uso a largo plazo. Las vigas 46 también proporcionan soporte de modo que durante el funcionamiento del horno 14 se minimiza la carga mecánica sobre los materiales refractarios. Las vigas 46 también elevan el piso 52 del horno del piso sobre el que está montado el horno 14. Esto permite el escape del calor que se forma debajo del horno 14.

[067] Las paredes laterales 54 del horno también están hechas de placa de acero y construcción de vigas. Se identifican dos regiones de pared, arriba de la línea del metal y debajo de la línea del metal. Esta diferenciación se hace por consideraciones tanto de resistencia como de valor térmico.

[068] Debajo de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,9 centímetros. Arriba de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,6 centímetros. En el presente horno, se considera (para propósitos de diseño) que los primeros 2,44 m están por debajo de la línea del metal y se considera (para

propósitos de diseño) que los 1,22 m superiores están arriba de la línea del metal.

[069] Las vigas 46 se usan para sostener las paredes laterales 54 del horno 14. Las vigas 46 están colocadas en líneas centrales de 45,7 cm que corren verticalmente a lo largo del horno 14. Las vigas horizontales 46 están colocadas en centros de 45,7 cm debajo de la línea del metal y en centros de 61 cm arriba de la línea del metal. Aunque la línea del metal en el horno 14 varía, ella es (por consideraciones de diseño) el nivel más alto de metal que habrá en el horno 14 durante el funcionamiento normal. Se pueden considerar factores adicionales en los que, por ejemplo, se puede asumir que la línea del metal esté 22,9 cm arriba de la línea de llenado máximo del horno 14.

[070] El techo 56 del horno 14 es un diseño refractario colgante. Las vigas 46 están en centros de 45,7 cm por toda la anchura del horno 14. Vigas adicionales 46 están soldadas a las vigas que se extienden por toda la anchura y dichas vigas adicionales están orientadas por todo lo largo del horno 14. Se han montado ganchos sujetadores a las vigas, a las cuales se han montado bloques refractarios premoldeados.

[071] El horno 14 tiene dos puertas principales 58 en el lado 54. Las puertas 58 se usan durante el funcionamiento para limpiar o para quitar la superficie del contenido de la cámara principal de calor o área de baño 60 y para cargar dicha cámara 60. Dentro del horno 14 se forma escoria D (la escoria contaminante que constituye la superficie del aluminio fundido) y debe ser quitada al menos una vez al día para mantener los porcentajes de transferencia de calor. La escoria D se elimina abriendo las puertas 58 y quitando ("desnatando") la superficie del pozo de metal fundido.

[072] Aunque durante el funcionamiento típico se coloca metal o retal en el pozo de carga 62 y luego se funde y se

24
237

transfiere a la cámara de calor 60, en el caso de algunos tipos de retal como bloques o lingotes, es mejor colocarlos directamente en la cámara principal de calor 60. Las puertas 58 se pueden abrir para transferir estos tipos de cargas a la cámara de calor 60.

[073] Las puertas 58 son de acero y construcción refractaria. Las puertas 58 se cuelgan en un sistema de polea mecánica (no mostrado) y se protegen mediante cadenas de seguridad para evitar que caigan al piso en caso de que falle el sistema de poleas. Para operar las puertas se usan cabrestantes eléctricos. Las puertas 58 se cuelgan de un miembro común de cruz que está sostenido del lado 54 del horno 14.

[074] El pozo principal de carga 22 está ubicado en el frente 64 del horno 14. El pozo 62 está separado de la cámara de calor 60 del horno y dividido en dos áreas: un área de carga 66 y un área de bomba de circulación 68. Una bomba de circulación 70 hace circular el metal del pozo caliente de metal fundido en la cámara principal 60 al área de carga de retal 62.

[075] Hay tres aberturas 72, 74 y 76, entre las cámaras 60, 66 y 68. La primera abertura 72 está en la división entre la cámara principal y el pozo de bombeo 68. La segunda abertura 74 está en la división entre el pozo de bombeo 68 y el área de carga de retal 68. La tercera abertura 76 está en la división entre el pozo de carga 66 y la cámara principal de calor 60.

[076] Todas las aberturas 72, 74 y 76 están aproximadamente 30,5 cm por debajo de la línea física o real de metal del horno 14. Las aperturas 72, 74 y 76 están debajo de la línea del metal para mantener el calor dentro de la cámara principal y evitar el flujo de óxidos entre las áreas divididas del horno 14 y para mantener el horno hermético al aire (es decir para mantener un medio ambiente controlado dentro del horno 14). La bomba 70 está ubicada en un área elevada para evitar que de-

25
238

ntro y alrededor de la bomba 70 se acumule excesivo desecho, rocas y retal.

[077] Una campana exhosto 78 está posicionada arriba de la cámara de carga 66. La campana está hecha en acero y está montada en vigas 46 similares a aquellas de las cuales están hechas las paredes laterales 54. Las vigas 46 están posicionadas en una placa que cubre la pared lateral del pozo, esencialmente tapándolo. La campana 78 ventila la cámara principal 60 del horno a través de cañón 80 (ver FIG. 4). El cañón 80 expulsa gases del horno 14 y puede cerrarse para mantener la presión en el horno 14.

[078] Los gases de escape salen del horno 14 y pasan a un filtro tipo bolsa 82 (FIG. 4). El filtro tipo bolsa 82 se usa principalmente para recoger el carbón no-quemado de pinturas, aceites, solventes, etc. inherentes al procesamiento de retal de aluminio.

[079] El horno 14 incluye cuatro quemadores 84 de oxígeno-combustible. Los quemadores 84 están instalados en una pared lateral 54 del horno 14 opuesta a las puertas 58. Se ha hecho una construcción de acero que circunda los quemadores 84 para permitir el montaje de los quemadores 84 y mantener rígida la pared circundante.

[080] El horno 14 está forrado con materiales refractarios. El piso 48 está hecho de dos materiales refractarios distintos. El primer material 86 es un concreto vertido, aproximadamente 15,24 cm de espesor, de alta resistencia, moldeable refractario, como por ejemplo AP Green KS-4, que forma una subchimenea. Un material 88 para piso se vierte arriba de la subchimenea 86 de modo monolítico con un espesor de aproximadamente 33 cm a 36 cm. El material 88 para piso es un material refractario AP Green 70AR. Es un material refractario moldeable constituido en un 70 por ciento de alúmina.

26
239

[081] Las paredes 54, 64 y 65 están hechas de dos capas de aislamiento 90 seguido por el material refractario 92 compactado plástico 70 AR moldeable o monolítico 85 por ciento alúmina adherido por fosfato (MONO P85). El contenido de alúmina del material es 85 por ciento. El aislamiento 90 de refuerzo es plancha aislante de aproximadamente 5,1 cm de espesor en las paredes laterales 54 del horno y de aproximadamente 7,6 cm de espesor en las paredes frontal y trasera 64 y 65 del horno. La diferencia de espesor del aislamiento 90 es para acomodar la expansión térmica del horno 14. Las paredes 54, 64 y 65 del horno crecerán aproximadamente 0,0104 cm por cm lineal. Así, el horno 14 crecerá (a lo largo de la longitud de 12,2 m) un total de aproximadamente 12,7 cm. Habiendo 15,24 cm de aislamiento 90 de refuerzo (tanto el del frente como el de atrás tienen 7,6 cm), el aislamiento 90 se aplastará y permitirá el crecimiento en las paredes 54, 64 y 65 del horno sin dañar el armazón d42 del horno.

[082] Entre la plancha aislante 90 aplastable y el material refractario 92 moldeado se ha colocado ladrillo aislante. El techo 56 está hecho en un 70 por ciento de material refractario moldeable de alúmina. El material se vierte en seis secciones de techo. Cada marco de puerta 58 está hecho en un 70 por ciento de material refractario AR de alúmina.

[083] El horno 14 tiene dos conjuntos de bloques vacíos (no mostrados). El primer conjunto está posicionado en el piso 52 del horno y sirve como bloques de drenaje. Un segundo conjunto de bloques está posicionado a 41 cm del piso del horno y sirve como conjunto de bloques de transferencia. Los bloques de transferencia están colocados en el exterior del horno para facilitar el reemplazo. Se forma el interior del horno y los bloques son dispuestos en el exterior y asentados con un adhesivo plástico.

27
240

[084] Hay dos rampas (no mostradas) en el horno, una en cada puerta principal de carga 58. Las rampas se usan para "desnatar" la escoria D del metal fundido y para permitir que el retal de aluminio se deslice hacia dentro del horno. Las rampas se componen de dos materiales. La base es un ladrillo resistente de aluminio de bajo grado, apilado para formar una rampa. El ladrillo se cubre con un material refractario moldeable (aproximadamente 45,7 cm de espesor), como por ejemplo el material 70AR. La rampa se extiende desde el borde del umbral hacia dentro del horno.

[085] La pared 96 que separa la cámara principal 60 del horno y el pozo de carga 62 tiene aproximadamente 56 cm de espesor y está hecha en material 70AR. La pared 96 está moldeada como una estructura monolítica individual.

[086] El horno 14 puede operar en varios modos desde vacío hasta conteniendo y manteniendo aluminio fundido. Cuando el horno 14 se encuentra en funcionamiento pico está lleno aproximadamente en un 80 a 90 por ciento. El metal fundido está aproximadamente a 760°C y la temperatura del aire en el horno es de aproximadamente 982°C. La temperatura de escape es aproximadamente 538°C. La temperatura del aire es medida por un termopar 98 en el lado superior de la pared 54 del horno 14. La temperatura del metal se mide en la base de la comba de circulación 70.

[087] El retal se carga en el horno por el pozo de carga 62 en incrementos de aproximadamente 1360,77 kg. Se entiende que el tamaño o peso del retal introducido varía dependiendo del tamaño y de la capacidad del horno 14.

[088] Desde la cámara principal 60 se bombea mediante la bomba de circulación metal fundido sobre la carga de metal frío. El metal fundido transfiere calor mediante conductividad a la carga de metal frío. La carga de metal se calienta rápidamente y se funde.

28
241

[089] El modo principal de transferencia de calor al aluminio recién cargado es por conductividad. La gran pileta de calor proporcionada por el horno lleno mejora este eficaz método de transferencia de calor. Cuando el horno está lleno en un 80 a 90 por ciento de su capacidad hay aproximadamente 99790 kg de aluminio fundido a una temperatura aproximadamente 760°C. Cuando se carga el retal en el horno 14, el baño actúa como pileta de calor y proporciona la energía necesaria para la transferencia de calor al metal recién cargado. Esto es cierto sin importar las dimensiones y la capacidad del horno, el cual aquí está adaptado al presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. La bomba de circulación 70 ayuda en la fusión del metal proporcionando metal fundido caliente al pozo de carga 62 desde la cámara principal 60 del horno. Además, mediante la circulación del metal fundido se mantiene baja la estratificación de calor por todo el horno 14.

[090] Se ha encontrado que mediante el bombeo o la circulación del metal fundido, la diferencia de temperatura entre la parte superior y el piso del horno (una diferencia de altura de aproximadamente 107 cm) es únicamente de unos cuantos grados centígrados. Así, el horno 14 actúa como una pileta de calor estable para proporcionar una fuente de calor consistente para la conducción de transferencia de calor al metal recién cargado.

[091] EL calor es aportado al horno 14 por los quemadores 84. Se cree que el principal modo de transferencia de calor al horno 14 es radiación, con alguna transferencia convectiva de calor. Debido a las altas temperaturas de llama, el sistema de combustión de oxígeno y combustible proporciona eficiente transferencia radiativa de calor. Además la geometría del horno 14 está diseñada para aumentar la cantidad de transferencia de calor maximizando el área de la superficie del metal sobre la cual ocurre la transferencia de calor de la llama al metal.

[092] Además, los materiales refractarios por encima de la línea del metal están hechos de un material con alto contenido de alúmina. Estos material reflejan el calor de los quemadores nuevamente hacia el metal fundido. Esto está en contraste con los diseños de hornos convencionales que más que reflejar el calor nuevamente hacia el pozo de metal fundido permiten que mucho del calor se escape del horno.

[093] Por ejemplo los hornos tradicionales usan materiales refractarios que tienen un bajo contenido de alúmina y alto valor de aislamiento en las paredes laterales superiores. El presente diseño, al contrario, usa materiales refractarios de alto contenido de alúmina para que se refleje más el calor radiativo de los quemadores 84 hacia el área del baño 60. Esto es contrario al diseño de hornos convencionales. En los hornos tradicionales las paredes laterales inferiores (definidas como estando por debajo de la línea del metal) usan para resistencia materiales refractarios de alto contenido de alúmina. En contraste, el presente diseño usa un material refractario moldeable de bajo contenido de alúmina, el cual es más avanzado y tiene un mayor valor aislante. En cierto sentido el presente diseño es completamente opuesto a la aplicación tradicional de materiales refractarios.

[094] Además, debido a que no se alimenta nitrógeno al horno 14 (a no ser el contenido por el combustible), el volumen de gases calientes (por ejemplo de escape) que pasan por el horno 14 es muy bajo. Ventajosamente, esto aumenta el tiempo de residencia de los gases en el horno 14 proporcionando oportunidad adicional para la transferencia de calor al metal fundido. La transferencia de calor convectiva, a pesar de ser relativamente baja, es más eficiente que en los hornos convencionales. Como los gases calientes en el presente horno 14 se aproximan a los 2760°C y tienen un tiempo de residencia relativamente largo, gran parte del calor ha sido removido antes del escape.

30
243

[095] Un presente horno 14 opera con una entrada de energía requerida para fundir de aproximadamente 2,52 J por kg. La entrada máxima de calor al horno 14 es aproximadamente $7,7 \times 10^6$ watts, y la entrada típica de calor es aproximadamente $1,93 \times 10^6$ watts a $2,32 \times 10^6$ watts. La entrada de calor dependerá obviamente del retal que está siendo fundido y de los requerimientos de producción. El horno es capaz de fundir hasta 18144 kg por hora.

El Sistema de Combustión

[096] El sistema de combustión, indicado en la FIG. 3, generalmente como 100, es un tren de combustión dual que funciona con una fuente de combustible (por ejemplo gas natural, fuel-oil, petróleo de desecho, carbón pulverizado o licuado) y una fuente de oxígeno. El sistema está diseñado como dos sistemas de combustión completos para facilitar el mantenimiento y conservar la energía durante los períodos de poco uso. En la FIG. 3. Se muestran un tren de oxígeno 102 y un ejemplo de tren de combustible de gas natural 104.

[097] El sistema de combustión 100 es controlado por un sistema de control (ilustrado en la FIG. 11 e indicado generalmente como 120) que incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 106 que monitorea todos los datos de entrada de temperatura del metal, temperatura del aire, flujo de combustible y de oxígeno, y proporciona un interfaz operatorio. Cada tren de combustión puede ser operado individualmente o en conjunto sobre la base de las condiciones y los requerimientos de funcionamiento.

[098] La principal variable de entrada del proceso usada para controlar el sistema de combustión 100 es la temperatura del baño de metal, que es medida por el termopar 108. Entre las variables alternativas de entrada del proceso están las señales de uno de varios sensores de la temperatura del aire 98 y 110. El esquema de control incluye entradas de termopares

3T
2AA

(tipo K) ubicados en la pared superior del horno, en el cañón de escape y en el techo del horno, indicadas generalmente con entradas 112. El termopar primario 108 está ubicado en el baño de metal fundido 60. Los termopares 112 para el aire están forrados con alúmina o material similar para proteger de la atmósfera al elemento medidor. El termopar 108 del baño está protegido del metal fundido mediante un forro cerámico que es resistente al calor y a las condiciones corrosivas encontradas en el metal fundido. El termopar 108 del baño está configurado para anunciar la iniciación del sistema quemador únicamente cuando la temperatura del baño de metal cae por debajo de un nivel pre-establecido.

[099] El termopar del escape o el termopar del techo 116 está diseñado para protección contra la sobre-temperatura. Este termopar 116 está conectado a un circuito de sobre-temperatura que apaga los trenes de combustión 102 y 104 para proteger la estructura del material refractario y el horno 14 en el caso de que se alcance un límite de sobre-temperatura.

[100] El termopar 98 de la pared superior se usa primariamente para monitorear la temperatura del aire del horno 14. También se puede usar para operar el horno 14 en ausencia del termopar 108 del baño fundido. El termopar 112 de la pared superior también se usa como una variable de entrada al proceso cuando el metal está siendo cargado por primera vez en el horno 14 o cuando el nivel del metal fundido cae por debajo del termopar 108 del metal fundido.

[101] Un operador tiene completo control sobre todos los puntos de establecimiento de temperatura individual. Un panel de control 118 incluye indicadores de temperatura para todos los termopares 98, 108, 110, 112, 114, 116. El operador puede ajustar cada uno de los puntos de establecimiento de termopar hasta que se alcancen los límites de funcionamiento. Los límites de los puntos de establecimiento operacionales pueden ser

32
245

establecidos internamente con la CPU de tal modo que se puede establecer cualquier margen deseado de temperatura.

[012] El sistema de control 120 del sistema de combustión está configurado en dos partes. La primera parte 122 incluye dispositivos de seguridad permanentes tales como relés, interruptores límite, etc. que serán identificados por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Entre estos dispositivos de seguridad están incluidos todos los interruptores de presión de gas, las válvulas de desconexión y bloqueo y los detectores de llama. La segunda parte 124 del sistema de control 120 son las funciones de monitoreo y control automático efectuadas por la CPU 106.

[103] Los trenes de gas 104 están configurados en pares de tal modo que un tren puede estar en servicio mientras que el otro está fuera de servicio, por ejemplo para mantenimiento o durante periodos de bajo uso o poca carga. Cada tren de gas 104 está dimensionado apropiadamente con respecto a los requerimientos de flujo de oxígeno. Cada tren de gas 104 comienza en un válvula de desconexión tipo balón 130. El conducto 32 enruta el gas a través de un filtro 134 para eliminar cualquier desecho presente en el tubo. Una línea piloto de gas 136 se extiende desde el conducto 132 después del filtro 134.

[104] Un regulador de contrapresión 138 se usa para disminuir la presión de cabecera. Ahora la presión de oxígeno está establecida en aproximadamente 124×10^3 Newton por metro cuadrado (N/m^2). Una válvula de desconexión 140 y varias válvulas de seguridad 142 siguen en línea. Un flujómetro 144 de presión diferencial está ubicado más debajo de las válvulas de seguridad 142. El flujómetro 144 mide la temperatura y la presión diferencial del gas a medida que este fluye a través de un orificio 146. El presente flujómetro 144 es un flujómetro de presión diferencia Rosemount modelo 3095.

33
246

[105] Mediante esta medidas se determina una cantidad de flujo y una señal es transmitida al sistema de control 120. Una válvula de control 148 está en línea siguiendo el flujómetro 144. En un presente arreglo, se usa una válvula moduladores de control que recibe una señal de salida del sistema de control 120. La válvula 148 transmite una señal al sistema de control 120 y específicamente a la CPU 106 indicando la actual posición de la válvula 148.

[106] El tren de gas 104 se parte entonces en dos conductos separadas 104a y 104b, cada uno de los cuales tiene una válvula 150a y 150b respectivamente. Las válvulas 150a y 150b se usan para balancear cada quemador 84 de tal modo que el flujo de gas se distribuya uniformemente.

[107] El tren de oxígeno 102 es similar al tren de gas 104, excepto que los tamaños de conducto y los componentes son más grandes para acomodar una cantidad mayor de flujo de oxígeno. En la FIG. 3 se ilustra un ejemplo de tren de oxígeno 102, en el cual los componentes que corresponden a los componentes del tren de combustible 104 están indicados mediante identificadores numéricos de la serie 200.

[108] Haciendo referencia a la FIG. 10, los quemadores 84 son de un diseño bastante sencillo. Cada uno de los cuatro quemadores 84 incluye un cuerpo principal de boquilla de entrada 152 que se extiende hasta dentro del horno 14. Una entrada de gas combustible 154 se extiende hasta el cuerpo de entrada principal 152 externo a la pared 54 del horno. Se alimenta oxígeno al cuerpo principal de boquilla de entrada 158 y este oxígeno se mezcla con el gas combustible. Un elemento encendedor (no mostrado) se extiende a través de una abertura central 156 en el cuerpo de entrada principal 152. El elemento encendedor proporciona una chispa para la ignición de la mezcla combustible/oxígeno.

34
27

[109] La operación del sistema de combustión 100 se efectúa fácilmente mediante una combinación de acción operadora de inicio y control automático por la CPU 106. A los sistemas de control se les proporciona energía que posibilita la función de la CPU 106 y de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122 del sistema de control 120. La CPU 106 inicia comunicación con las válvulas de control, los termopares y los relés que forman parte de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122. Los interruptores de presión de gas y oxígeno son de diseño doble alto/bajo. El interruptor de presión baja es normalmente una señal cerrada, mientras que el lado de alta presión es una señal normalmente abierta. La CPU 106 determina si está presente la señal apropiada y permite que el programa continúe. Si se identifica una señal inapropiada entonces se ponen en acción alarmas audibles y visuales. El esquema de control también monitorea su las válvulas de control de gas y oxígeno 148 y 248 están en la posición de "fuego bajo". Si las válvulas de control 148 y 248 están en la posición apropiada entonces se transmite una señal que permite que el sistema de control 120 continúe el procedimiento de arranque. La señal de sobre-temperatura también debe estar ausente para que el sistema 120 siga adelante con el procedimiento de arranque.

[110] Cuando se cumplen todas las condiciones de arranque, se inicia un ciclo de purga de nitrógeno. El nitrógeno se usa para purgar el horno 14 de todos los gases combustibles que hayan permanecido en el horno 14. A la purga de nitrógeno se le asigna un tiempo de tal modo que el volumen de nitrógeno por todo el horno 14 sea aproximadamente 2,5 veces el volumen del horno 14.

[111] Después de completada la purga, se arranca uno o los dos trenes de combustión. Un interruptor de control pone a funcionar ya sea un par de quemadores o todos los quemadores 84. Un controlador de llama abre los solenoides piloto. Nor-

malmente los solenoides piloto están cerrados, sin embargo al arrancar el funcionamiento los solenoides se abren y a través de un ensamblaje piloto fluye gas y oxígeno.

[112] En la punta del ensamblaje piloto los gases se mezclan y son encendidos por una chispa emitida controladamente por el controlador de llama. Al tener lugar la ignición un detector de llama 126 detecta la presencia o ausencia de llama y transmite una señal al sistema de control 120. Una vez que la llama ha sido detectada, el sistema de control 120 abre las principales válvulas de bloqueo tanto del gas como del oxígeno.

[113] Las principales válvulas de desconexión del combustible y del oxígeno 120 y 140 operan independientemente. Las válvulas de seguridad 142 y 242 están configuradas de tal modo que si la válvula de gas 140 no se abre, entonces las válvulas de seguridad 142 y 242 no se abren tampoco. Cuando la principal válvula de gas 140 se abre entonces se abren las válvulas de seguridad 142 y 242 del gas y del oxígeno. Con todas las principales válvulas de seguridad abiertas, un relé de control es energizado así como también una luz indicadora en el panel de control 118 para cada tren de gas. Un timer piloto permanece energizado durante un período predeterminado de tiempo, aproximadamente 30 segundos. Una vez transcurrido dicho período predeterminado de tiempo, se des-energiza el circuito piloto y se des-energizan las válvulas solenoides normalmente cerradas, aislando los ensamblajes piloto y la luz indicadora piloto para cada tren quemador.

[114] Los detectores de llama 126 monitorean permanentemente la llama. Al perderse la indicación de llama, una señal de alarma es transmitida a la CPU 106 y el circuito de control aísla las válvulas de desconexión del gas y del oxígeno 140 y 240 y las válvulas de bloqueo 142 y 242.

[115] Una vez que el piloto ha sido des-energizado, el sistema de control 120 asume la operación automática del horno.

36
249

Mientras que el sistema 120 está puesto en "fuego bajo", las válvulas de control del oxígeno 248 se mantienen en la posición cerrada sin importar los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. Las válvulas de control del gas 140 no son limitadas en su margen de operación ya que el flujo de gas sigue al flujo de oxígeno. El sistema de control 120 mantiene el gas en la proporción pre-establecida.

[116] Cuando la operación tiene lugar en el modo automático, el sistema de control 120 responde a las desviaciones de los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. La temperatura del horno es monitoreada y ajustada correspondientemente al punto de establecimiento de temperatura. Cuando la temperatura del proceso se desvía de la temperatura del punto de establecimiento, entonces se genera una señal de error y el sistema de control 120 transmite una señal a la válvula de control del oxígeno 248. El sistema de control 120 también controla la válvula de control del gas 148; la variable del punto de establecimiento sigue la cantidad de flujo (correlacionada estequiométricamente) de oxígeno tal como la establece el flujómetro de oxígeno. El sistema de control está configurado para limitar las válvulas de control 148 y 248, las cuales a su vez limitan la energía de salida de los quemadores 84.

[117] El sistema de combustión 100 y específicamente el sistema de control 120 pueden estar configurados para satisfacer cualquier aplicación deseada para y en cualquier industria que dependa de combustibles basados en carbono. Por ejemplo, en la presente planta procesadora 10 de retal de aluminio, hay tres aplicaciones o usos del sistema de combustión de oxígeno y combustible 100. El primero es para fundir aluminio en un medio ambiente de alta producción (es decir en el horno de fusión 14). Segundo, el sistema 100 está presente en el horno de almacenamiento 16 primariamente para temperatura de estado permanente y mezcla de aleaciones del aluminio fundido. La úl-

37
20

tima aplicación es en un horno de fusión de escoria 166 en el que se usan quemadores de alta temperatura para liberar las unidades de metal (aluminio que puede recuperarse para la producción) de la escoria D (producto secundario fundido) mediante choque térmico. En cada uso, los quemadores están instalados por razones de conservación de energía y ambientales.

[118] Las aplicaciones del presente sistema de combustión 100 varían según la salida térmica (medida en máximos watts), el tamaño y la orientación de los quemadores 84, así como también la temperatura a la cual están diseñados para funcionar los hornos 14, 16 y 166. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que se requieren diferencias mecánicas (por ejemplo tamaños de los conductos, etc.) para acomodar estas diferentes necesidades, y que la programación específica del sistema de control 120 y de la CPU 106 puede variar.

[119] El presente sistema de combustión 100 proporciona varias ventajas respecto a los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Por ejemplo, se ha demostrado mediante el funcionamiento que hay ahorros considerables de energía usando el presente sistema de combustión 100. Los quemadores 84 de oxígeno-combustible operan a una temperatura mucho más elevada que los hornos convencionales. De este modo, se ha observado que hay un aumento del calor disponibles para la fusión (en otras aplicaciones industriales este aumento de calor se puede utilizar por ejemplo para generación de vapor, incineración de desechos, etc.). Esto proporciona una reducción en la cantidad de combustible requerido para operar los hornos 14, 16 y 166. En la práctica de la presente invención se ha observado que la entrada térmica promedio (y la calculada) requerida por libra de aluminio fundido ha disminuido de aproximadamente $8,4 \times 10^6$ J por kg (en un horno convencional) hasta aproximadamente 2,52 J por kg en el horno de fusión 14. Esta es una reducción de aproximadamente 70 por ciento. Ade-

más, se ha demostrado que el combustible necesitado para mantener la temperatura en el horno de almacenamiento 16 es aproximadamente la mitad del necesitado en un horno convencional.

[120] Los ahorros de combustible se atribuyen a tres factores principales. Primero, el aumento de calor del sistema de combustión 100 permite quemar todo el combustible sin que haya exceso de oxígeno. Segundo, ateniéndonos a la teoría, se cree que el sistema de combustión 100 opera dentro de una zona de transferencia de calor radiativa (o radiante), con alguna transferencia de calor por conductividad.

[121] El sistema 100 está diseñado para aprovechar la transferencia de calor radiante dentro de los hornos 14, 16 y 166 para transferir calor eficientemente a los baños de metal. Tercero, debido a que no hay nitrógeno en el proceso de combustión, la cantidad de gas que fluye a través de los hornos 14, 16 y 166 es baja. Así, un aumento del tiempo de residencia de los gases calientes permite la liberación de una mayor proporción de energía (en forma de calor) antes del escape de los hornos 14, 16 y 166.

[122] El volumen típico de gas de escape es una fracción de aquel de los hornos convencionales. Habiendo aproximadamente 80 por ciento menos de gases (esencialmente el componente de nitrógeno del aire) en el horno de oxígeno-combustible, se aumenta grandemente la eficiencia de la combustión. En los hornos convencionales el componente de nitrógeno del aire absorbe gran parte de la energía (en forma de calor) de la masa fundida. En el presente sistema de combustión 100 se alimenta oxígeno (y no aire) y combustible a los hornos 14, 16 y 166 y se queman en una proporción estequiométrica. Esto se hace sin exceso de oxígeno. De este modo no hay energía absorbida por materiales no relacionados con la combustión (por ejemplo exceso de oxígeno o nitrógeno).

[123] El presente sistema de combustión 100 también proporciona aumento en la producción. Cuando se instala como parte de un horno de fusión, aumenta la capacidad de fusión o rendimiento. Esto también se atribuye a la rápida y eficiente transferencia de calor en el horno 14. Al introducir nuevo metal en el horno 14, el sistema de combustión 100 responde rápidamente para proporcionar calor para fundir el metal alimentado y mantener el calor (la temperatura) del metal fundido en el pozo 60 a la temperatura del punto de establecimiento. Se ha encontrado que el aluminio acepta calor muy eficientemente de una fuente de calor radiativa.

[124] Tal vez más importante es el reducido impacto medioambiental del presente sistema de combustión 100, en comparación con los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Ventajosamente el presente sistema de combustión 100 no usa nitrógeno (del aire) en el proceso de combustión. Típicamente la producción de NOx ocurre en un horno como producto de reacción del aire calentado que es alimentado por el sistema de combustión. Sin embargo, como el presente sistema 100 usa oxígeno y no aire, el NOx producido por el presente sistema de combustión se debe exclusivamente a la cantidad de nitrógeno elemental que hay en el combustible (es decir nitrógeno contenido en el combustible). Como los niveles de nitrógeno contenido por el combustible son sumamente bajos (en comparación con la cantidad de nitrógeno aportada por el aire en los hornos convencionales), los niveles de NOx del presente sistema de combustión están bastante por debajo de cualquier estándar industrial y de cualquier limitación gubernamental. Además de reducir la producción de NOx también se reduce grandemente la producción de otros gases invernadero como por ejemplo monóxido de carbono.

[125] Además del reducido impacto ambiental, el presente sistema de combustión de oxígeno y combustible conserva energía porque considerablemente más aluminio puede ser procesado

40
253

con considerablemente menos entrada de combustible (cualquier combustible basado en carbono, incluyendo carbón, polvo de carbón, gas natural o petróleo). Como resultado del procesamiento con menos utilización de combustible se logra la conservación de las fuentes de combustible. Esencialmente se usa menos combustible en total y también por kilogramo para producir aluminio. Esto reduce los costos de procesamiento (por ejemplo los costos de combustible) así como también el agotador uso de combustibles fósiles.

Abastecimiento de Oxígeno

[126] Como se darán cuenta las personas con experiencia en este campo de la técnica, los requerimientos de oxígeno para el presente sistema de combustión 100 pueden ser bastante elevados. Para tal fin, aunque el oxígeno se puede comprar, entregar y almacenar para el uso en el sistema, es más deseable tener una instalación de producción de oxígeno cerca del sistema de combustión de oxígeno-combustible o que forme parte de dicho sistema, tal como la planta procesadora de retal de aluminio ejemplarizada.

[127] Haciendo ahora referencia a la FIG. 4, se muestra una planta criogénica 180 para uso con el presente sistema de combustión 100. La planta criogénica 180 ejemplarizada ilustrada produce 105 toneladas al día de oxígeno de mínimo 95 por ciento de pureza y 1700 metros cúbicos estándar por hora de nitrógeno que tiene menos de 0,1 parte por millón de oxígeno. La planta 180 incluye un compresor 182 de tres niveles y $1,38 \times 10^6$ Watts. El aire comprimido a $4,89 \times 10^5$ N/m² entra a un purificador/expansor 184. El aire sale del expansor 184 a una presión de 4,76 N/m² y a una temperatura de -164°C, y entra a una columna de destilación criogénica 186. En la columna el aire es separado (destilado) en nitrógeno gaseoso, nitrógeno líquido, oxígeno gaseoso y oxígeno líquido. El oxígeno gaseoso, indicado generalmente como 188, es alimentado directamente

44
SA

al sistema de combustión 100 y el oxígeno líquido, indicado generalmente como 190, se almacena por ejemplo en los tanques 191 para posterior uso en el sistema de combustión 100. La presión del oxígeno de la planta criogénica 180 puede ser menor que la requerida para el sistema de combustión 100. Como tal, un soplador de oxígeno 192 se posiciona entre la descarga de oxígeno de la columna 186 y la alimentación del sistema de combustión 100 para elevar la presión al nivel requerido para el sistema de combustión 100.

[128] El nitrógeno gaseoso, indicado generalmente como 194, es alimentado a un sistema de recocido/liberación de tensión situado corriente abajo (no mostrado) dentro de la planta 10. Estos sistemas, que usan nitrógeno para tratar aluminio para liberar la tensión en el metal y para recocer el metal, serán reconocidos por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Además, el nitrógeno 194 se usa en las unidades desgasificadoras 24. La planta 10 también incluye un abastecimiento de respaldo de oxígeno y de nitrógeno, 191 y 196 respectivamente, en forma líquida por ejemplo para el caso de un mantenimiento u otras situaciones en las que la planta criogénica 180 no pueda abastecer los requerimientos de la planta. Los sistemas de respaldo 191 y 196 están configurados para abastecer automáticamente oxígeno y/o nitrógeno según se requiera, por ejemplo cuando la planta criogénica 180 no está en funcionamiento. El exceso de nitrógeno se puede almacenar, envasar y vender. Sistemas como este están disponibles comercialmente donde varios fabricantes, por ejemplo Praxair Inc. de Danbury, Connecticut.

Recuperación de Calor

[129] El sistema de procesamiento de aluminio 10 también aprovecha el calor de desecho de los distintos procesos. Específicamente, la planta 10 puede incluir un sistema de recuperación del calor de desecho, indicado generalmente como 200 en

42
B

la FIG. 4. El gas de escape 202 del horno de fusión 14 y del horno del almacenamiento temporal 16 es dirigido hacia un lado de un intercambiador de calor de desecho 204. Como el gas de escape 202 está a una temperatura de aproximadamente 538°C, hay una considerable cantidad de energía que puede ser recuperada. Además se puede recuperar energía del exhosto arriba del área de baño 60 del horno principal.

[130] El gas de escape 202 es dirigido hacia el intercambiador de calor de desecho 204. Un fluido de trabajo 206, por ejemplo pentano, fluye bajo presión a través del otro lado del intercambiador de calor 204. Hay que decir que un intercambiador de calor tipo placa o un intercambiador de calor tipo placa y tubo son los más apropiados para esta aplicación. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán los varios tipos de fluidos de trabajo que pueden usarse para el presente sistema de recuperación de calor de desecho, así como también los sistemas de intercambio de calor que son usados con estos tipos de fluidos de trabajo. Todos esos sistemas están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[131] El fluido 206 calentado es dirigido entonces a un vaporizador 208, donde se permite que el fluido 206 se expanda convirtiéndose en vapor. El vapor 206 es dirigido a un conjunta turbogenerador 210 para producir electricidad. Luego se condensa el vapor en un condensador 212 y se devuelve al intercambiador de calor 204. Hay que decir que del gas de escape 202 de la planta procesadora de retal descrita arriba se puede recuperar suficiente energía para producir aproximadamente 1,5 a 2,0 megawatts de energía en forma de electricidad.

[132] Aunque se puede emplear una amplia variedad de fluidos de trabajo 206 para uso en un sistema de recuperación de energía de desecho o de calor de desecho 200, en un sistema actualmente contemplado se usa pentano como el fluido de trabajo

43
206

206. Dicho sistema basado orgánicamente proporciona varias ventajas respecto, por ejemplo, a los sistemas basados en vapor. Hay que decir que el fluido de trabajo 206 basado en pentano en un arreglo de ciclo Rankine estándar permitirá variaciones en el abastecimiento de vapor más fácilmente que un sistema basado en vapor. Como la producción de calor de los hornos (de fusión 14 y de almacenamiento 16) depende de la producción de metal y no de las necesidades eléctricas, es probable que la entrada de energía al sistema de recuperación 200 varíe y sea la característica controladora para la producción de energía. Como tal, un fluido 206 tal como el pentano proporciona la mayor flexibilidad que se requiere para tal sistema de recuperación 200.

[133] Como lo reconocerán las personas con experiencia en este campo de la técnica, la energía eléctrica generada puede ser usada para proporcionar parte de la energía necesaria para la planta 10 de procesamiento de retal, incluyendo la planta criogénica 180. La energía para operar la planta 10 puede ser proporcionada por un sistema de combustión de oxígeno-combustible empleado en una planta generadora de energía (usando un horno o quemador) para generar vapor para un conjunto turbogenerador de vapor. En tal arreglo, cuando la energía generada excede los requerimientos de la planta 10, el exceso de energía puede ser vendido por ejemplo a una instalación eléctrica local.

Procesamiento de Escoria

[134] Haciendo referencia ahora a la FIG. 2, los contaminantes o escoria D del horno de fusión 14 se procesa ulteriormente, de forma separada y aparte de la recuperación en línea del aluminio, en un proceso de recuperación de escoria indicado generalmente como 164. La escoria D se elimina, por ejemplo mediante "desnatado", de la parte superior del pozo de aluminio fundido 60 en el horno de fusión 14. La escoria D se pren-

44
25

sa por medios mecánicos en una tasa tipo tamiz 168. La acción de prensado empuja el aluminio A de la escoria D a través de las aberturas 170 de la tasa 168. El aluminio A prensado de la escoria D se recupera y se devuelve al horno de fusión 14.

[135] La escoria cargada de óxido se alimenta al horno de recuperación 166 para recalentamiento. El horno de recuperación 166 es de un diseño similar al del horno de fusión 14 en cuanto usa un diseño de sistema de combustión de oxígeno-combustible 100. En la operación, sin embargo, el horno de recuperación 166 "somete a choque" al material cargado de escoria usando incidencia de llama directa cercana de aproximadamente 2760°C para liberar el metal de aluminio de la escoria D. La temperatura del baño fundido 172 en el horno de recuperación 166 es también considerablemente mayor, aproximadamente 788°C-816°C, con una temperatura del aire del horno de aproximadamente 1093°C-1204°C. Además el proceso de "choque" se efectúa en una atmósfera altamente reducida substancialmente sin exceso alguno de oxígeno dentro del horno 166 (en contraste con los hornos convencionales que operan con niveles de exceso de oxígeno de aproximadamente 3 a 5 por ciento).

[136] El horno de recuperación 166 también es "desnatado" y la escoria resultante se prensa. El aluminio recuperado A es transferido al horno de fusión 14. La escoria restante D2 se envía luego para procesamiento fuera del horno de recuperación a un procesador de escoria para adicional recuperación de aluminio. Se ha encontrado que el presente proceso, incluyendo el proceso de recuperación de escoria, proporciona un aumento significativo en la recuperación del metal. La escoria D2 que se envía en último término para procesamiento adicional es únicamente una fracción de la cantidad original de escoria D, con lo cual se reducen los costos del procesamiento y se aumenta la recuperación de aluminio.

45
238

[137] Es importante el hecho de que el presente proceso de recuperación de escoria 164 se efectúa sin uso de sales o de cualesquiera otros aditivos. Más bien, se usa el choque térmico para liberar el metal de los óxidos. Los procedimientos de recuperación conocidos usan sales para separar los óxidos del metal. Como la sal permanece en los óxidos, los cuales a su vez se desechan, entonces las sales también son en último término desechos. Estas sales pueden ser peligrosas y/o tóxicas para el medio-ambiente. Como tal, el presente proceso 164 es ambientalmente benéfico ya que elimina la necesidad de estas sales y por lo tanto su desechamiento.

[138] Respecto al esquema de procesamiento 164 total, también se ha encontrado que los presentes pasos de recuperación (por ejemplo el doble prensado con recalentamiento intermedio) resulta en cantidades de recuperación de aluminio significativamente mejoradas con respecto a las de los procesos conocidos, dependiendo del grado del retal. Se han logrado aumento multi-porcentuales en la cantidad de metal recuperada de la escoria D.

Otras Aplicaciones para el Sistema de Combustión

[139] Como se mencionó arriba, es evidente que se pueden lograr aumentos en la eficiencia usando oxígeno en todos los procesos continuos. Por ejemplo las plantas generadoras de energía pueden aumentar la temperatura de llama o reducir la pérdida de ignición (LOI) en los quemadores mediante la introducción de oxígeno a la fórmula de combustión (y no aire). Esto puede aumentar las eficiencias en la operación. Esencialmente la combustión de cualesquiera combustibles basados en carbono puede ser mejorada mediante la introducción de oxígeno. Los beneficios son tanto económicos como medio-ambientales. Hasta el presente ninguna otra industria distinta a la de fabricación de vidrio ha adoptado la tecnología del oxígeno-combustible. En la industria de fabricación de vidrio

46
289

esta tecnología se usa no por la eficiencia que resulta, sino por la elevada temperatura de fusión requerida para el proceso de producción del vidrio.

[140] Sin embargo, el uso de sistemas de combustión de oxígeno-combustible en todas las aplicaciones industriales y generadoras de energía puede proporcionar una reducción en el consumo de combustible con una equivalente producción de energía o generación de calor. La reducción del consumo de combustible junto con el uso eficiente del combustible (es decir la combustión eficiente) proporciona emisiones de NOx grandemente reducidas o substancialmente nulas y reducciones significativas en la emisión de otros gases invernadero.

[141] Debido a la variedad de combustibles industriales que pueden ser usados, por ejemplo carbón, gas natural, distintos petróleos (de calefacción y de desecho), madera y otros desechos reciclados, junto con los distintos métodos, actuales y propuestos, para generar oxígeno, las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán el enorme potencial respecto a la aplicabilidad industrial del presente sistema de combustión. La selección del combustible se puede hacer sobre la base de la disponibilidad, de los factores económicos y de las preocupaciones medio-ambientales. De esta forma, no se especifica ningún combustible determinado sino más bien mieles de ellos y de hecho todos los combustibles basados en carbono son compatibles con el presente sistema. Además existen muchas tecnologías aceptables para producir oxígeno de altos niveles de pureza. Entre tales tecnologías están la criogénica, los sistemas de membrana, las unidades de absorción, la hidrólisis, etc. Todos estos usos de combustible y abastecimientos de oxígeno están dentro del alcance de la presente invención. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que los otros gases producidos, por ejemplo hidrógeno y nitrógeno, se pueden almacenar, envasar y vender.

47
20

[142] Como se mencionó en detalle arriba, una aplicación para el presente sistema de combustión es el procesamiento y la recuperación de retal de aluminio. Entre las otras aplicaciones que se mencionan más abajo están los quemadores y los incineradores para generación de energía industrial. Estas aplicaciones se centran en la flexibilidad y la aplicabilidad de esta tecnología para amplios usos industriales.

[143] En general el uso de combustión activada por oxígeno y combustible brinda significativas ventajas en muchas áreas en comparación con los actuales o tradicionales sistemas de combustible y aire. En primer lugar está la capacidad de funcionar a niveles estequiométricos precisos sin el impedimento del nitrógeno en el sistema de combustión. Esto permite mayor eficiencia en el uso de combustible y reduce grandemente los niveles de NOx en la aplicación del sistema. Se requiere significativamente menos combustible para lograr los mismos niveles de producción de energía, lo cual a su vez reduce los costos totales de funcionamiento. Al usar menos combustible para obtener la misma producción de energía se logra una reducción natural de las emisiones. El ahorro de combustible y la reducción de las emisiones son tan solo dos de los beneficios proporcionados por el presente sistema.

[144] Los generadores de vapor para la producción de electricidad, por ejemplo mediante calderas de energía industriales, son variados pero sin embargo dependen fundamentalmente de sus sistemas de combustión para producir vapor para hacer rotar un conjunto turbogenerador. Los combustibles usados varían con base en el diseño de los generadores de vapor. No obstante, todas las calderas requieren un agente oxidante. Al emplear el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa oxígeno de alta pureza como el único agente oxidante en toda la caldera o se usa como un complemento al aire que proporciona oxígeno para la combustión.

48
26

[145] Los beneficios que son disfrutados por otras aplicaciones industriales son también válidos para la industria generadora de energía. Por ejemplo, el uso de oxígeno dentro de la zona de combustión aumenta la temperatura de llama y al mismo tiempo corta la pérdida de ignición (LOI) proporcionando oxígeno inmediatamente disponible para la combustión. Al aumentar las temperaturas de llama se pueden alcanzar mayores cantidades de generación de vapor con la misma cantidad de consumo de combustible. Dicho a la inversa, con cantidades menores de consumo de combustible se obtiene la misma generación o producción de energía. La temperatura de llama dependerá de la concentración del oxígeno proporcionado para la combustión. Para tal fin, sin complemento o enriquecimiento alguno de oxígeno (es decir aire puro para la combustión) las temperaturas de llama será aproximadamente 1649°C . Haciendo referencia a lo dicho arriba, con oxígeno puro como agente oxidante la temperatura de llama será aproximadamente de 2482°C a aproximadamente 2760°C . Las temperaturas de llama para distintos grados de complementación de oxígeno pueden ser interpoladas (se cree que linealmente) entre estas temperaturas.

[146] El oxígeno también puede usarse juntamente con sistemas de aire sobre-alimentado o con quemadores de poco NO_x para reducir el N O_x y otros gases invernadero garantizando al mismo tiempo una llama estable estequiométricamente. Los típicos quemadores de poco NO_x aumentan a menudo la pérdida de ignición. Esto exige que los operadores quemen más combustible. Mediante la adición de oxígeno enriquecido al proceso de combustión el combustible se quema completamente de forma estequiométrica sin que haya presente nitrógeno adicional (por entrada adicional de aire) que produzca NO_x .

[147] Hay que decir que las calderas serán diseñadas alrededor de sistemas de combustión de oxígeno-combustible para aprovechar totalmente los beneficios de estos sistemas. También hay que decir que las mejoras o modificaciones al equipo

49
262

existente también proporcionarán varios de estos beneficios tanto al operador (por ejemplo la instalación) y al medio-ambiente.

[148] Por ejemplo la FIG. 12 ilustra esquemáticamente una caldera u horno 300 activado por carbón. En la pared 304 del horno 300 está formada una caja de viento 302. Un quemador 306, a través del cual se introduce el carbón al horno 300, se extiende a través de la caja de viento 302. El carbón es llevado al horno 300 por un conducto de carbón 308. Se abastece aire primario (indicado como 310) para transportar el carbón (desde un pulverizador no mostrado) a través del conducto 308 y del quemador 306 al horno 300. Se abastece aire terciario (indicado como 312) al conducto de carbón 308 para garantizar que el carbón se transportado al quemador 305.

[149] Se abastece aire secundario (indicado como 314) desde la caja de viento 302 directamente al horno 300 a través de los registros 316 en la pared 304 del horno. El aire secundario 314 es la fuente primaria de aire para el proceso de combustión. En un sistema bien identificado y conocido para controlar el NO_x, un sistema de aire sobre-alimentado (indicado como 318) inyecta aire (desde la caja de viento 302) al horno 300 sobre la llama F. El propósito subyacente del aire sobre-alimentado es doble. Primero, proporcionar suficiente oxígeno para garantizar la completa combustión del combustible. Segundo, reducir la temperatura de llama y así reducir la producción de NO_x.

[150] También se ha contemplado el uso del presente sistema de combustión en relación con los incineradores de desechos industriales. Los incineradores típicos de desechos operan sobre la base de tiempo resonante, temperatura y exceso de oxígeno. Un sistema de oxígeno-combustible permitirá mayor eficiencia en la operación.

[152] El tiempo resonante depende del tamaño físico de la cámara calentada y de la velocidad y del volumen de los gases que pasan a través de la cámara. A medida que se saca nitrógeno de la cámara, naturalmente el tiempo resonante aumenta porque el volumen de gas usado en el proceso de combustión es menor (en aproximadamente 80 por ciento). Cuando un incinerador está específicamente diseñado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible entonces el incinerador requiere considerablemente menos costos de capital debido al tamaño reducido que se requiere.

[153] Las temperaturas de llama típicas de los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son mucho más altas que las de los sistemas de aire y combustible. Así, la eficiencia de la combustión requiere menor entrada térmica del combustible, lo cual resulta en menores costos operativos. Uno de los beneficios del sistema de combustión de oxígeno-combustible es el control logrado sobre los niveles excesivos de oxígeno. En el caso de los incineradores convencionales se requiere exceso de oxígeno para quemar los carbonos orgánicos volátiles (VOCs) y el carbono no quemado. Este exceso de oxígeno se abastece inyectando aire a la cámara donde el oxígeno (del aire) se usa para completar el quemado de los carbonos orgánicos volátiles y del carbono no quemado. Aunque el aire proporciona el necesario exceso de carbono, él también permite la entrada de nitrógeno a la cámara. El exceso de nitrógeno que se introduce (para proporcionar el exceso de oxígeno) resulta en un aumento en la producción de NOx. Además, el exceso de aire globalmente resulta en la generación de otros gases invernadero y además actúa enfriando la cámara. Este indeseable enfriamiento requiere entonces calor adicional del sistema de combustión para superar este efecto enfriador.

[154] La FIG. 13 ilustra esquemáticamente un horno industrial 400 típico. Se introducen desechos (indicados como 402) en la cámara 404. Un quemador 406 es alimentado con aire (in-

57
26A

dicado como 408) y combustible (indicado como 410) para producir una llama F para incinerar los desechos 402. Un monitor 412 de monóxido de carbono (CO) se encuentra ubicado arriba de la llama F para determinar el nivel de CO en el gas de escape. Cuando el nivel de CO es demasiado alto entonces se alimenta aire adicional al quemador 406. Opcionalmente se puede alimentar aire a la cámara desde una ubicación 414 separada del quemador 406 para proporcionar el aire adicional.

[155] Este método de operación tiene numerosos inconvenientes. Como se mencionó arriba, los dos factores controladores en la incineración de desechos son tiempo y temperatura. Es decir, temperaturas más altas y mayores tiempos resonantes aumentan la incineración de los desechos. Sin embargo, la adición de aire (para reducir los niveles de CO) aumenta la cantidad de flujo a través de la cámara 404 y reduce así el tiempo resonante. Además, aunque el aumento de flujo de aire reduce las temperaturas de llama (lo cual a su vez reduce la producción de NOx), él también introduce altos niveles de nitrógeno, lo cual tiende a aumentar la producción de NOx y a compensar el efecto de enfriamiento (y de reducción en la producción de NOx). Además, debido al efecto enfriador que tiene el aire, se reduce la eficiencia del proceso de incineración.

[156] El presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, por otra parte, usa oxígeno de alta pureza, lo cual permite quemar el material no quemado sin que haya producción de NOx y de otros gases invernadero y sin que haya efectos enfriadores. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible brinda varias ventajas respecto a los sistemas incineradores convencionales o tradicionales. Como el deber primario de un incinerador es quemar carbonos orgánicos volátiles (VCOs) y otros contaminantes de que ellos lleguen a la atmósfera, el presente sistema de combustión reduce el combustible usado y resulta así en una producción reducida

de NOx y de otros gases invernadero y generalmente también en un volumen reducido de gases de chimenea.

[157] Además, los costos de instalación (por ejemplo el capital) y de funcionamiento de los incineradores que emplean sistemas de combustión de oxígeno-combustible se reducirá grandemente. El costo en capital del incinerador se reducirá porque se espera que sea mucho menor el volumen de gases a través del sistema. Como se dijo arriba, debido a que la producción de gas es mucho menor entonces el tamaño total del incinerador puede ser considerablemente menor que en los sistemas convencionales manteniéndose simultáneamente el mismo tiempo resonante. De este modo, el incinerador puede ser físicamente más pequeño para manejar la misma carga de desechos, y los sistemas de apoyo y el equipo auxiliar requeridos pueden ser igualmente más pequeños.

[158] Además, los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son por lo general considerablemente más eficientes que los sistemas incineradores convencionales y requieren solo una fracción de la cantidad de entrada de energía requerida. El sistema también se presta bastante bien para aplicaciones de incinerador en las que el combustible es carbono no quemado o VOCs. Igualmente, como no hay nitrógeno presente en el conjunto de llama entonces el desarrollo de NOx se mantiene en un mínimo, relegado únicamente al NOx formado por el nitrógeno contenido en el combustible.

[159] Las industrias descritas arriba son solo unos cuantos ejemplos de industrias que se pueden beneficiar del uso del presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. La personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán la aplicabilidad de este sistema en las industrias química y petroquímica, en la industria generadora de energía, en las industrias de plásticos, en la industria del transporte, etc.

La Combustión de Oxígeno-Combustible - Beneficios y Ventajas

5-3
206

[160] Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán los beneficios y las ventajas del sistema de combustión de oxígeno-combustible. Sin embargo, en un ejemplo de instalación procesadora de retal de aluminio, usando un horno encendido por aire adaptado para gas natural, se encontró que la energía requerida para procesar o fundir una libra de retal de aluminio (determinada por los metros cúbicos de gas natural usados) era $8,42 \times 10^6$ Joules (presentados como $8,42 \times 10^6$ Joules/kg). Es decir que para fundir cada kilogramo de aluminio se necesitaron aproximadamente 0,098 metros cúbicos estándar de gas natural. El requerimiento de $8,42 \times 10^6$ Joules se basa en cada metro cúbico estándar de gas natural que tiene un contenido calorífico de $1,107 \times 10^6$ Joules.

[161] En contraste, usando el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, se encontró que únicamente se necesita $0,029 \text{ m}^3$ estándar de gas natural (ó $2,52 \times 10^6 \text{ J}$) para fundir cada kilogramo de aluminio. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno combustible usó $2,52 \times 10^6 \text{ J} / 8,42 \times 10^6 \text{ J}$ ó 29,9 por ciento del combustible requerido por un horno encendido por aire. Esta es una reducción de 1.0 menos 0,299 o sea aproximadamente 70 por ciento en el consumo de combustible.

[162] Reducciones similares aunque no tan drásticas del consumo de energía se han observado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible que usa petróleo de desecho como combustible. Se encontró que el contenido de calor del combustible de petróleo de desecho necesitado para fundir cada libra de aluminio fue de $2,83 \times 10^6 \text{ J}$. Así, la reducción observada con petróleo de desecho fue $2,83 / 8,42$ o sea 33,6 por ciento, resultando en una reducción de aproximadamente 66 por ciento en el combustible consumido. Como tal, incluso antes de considerar la reducción de los contaminantes producidos, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible mostró reducciones en el consumo de combustible de aproximadamente 70 por ciento y 66 por ciento usando gas natural y petróleo de dese-

54
267

cho respectivamente en comparación con un horno encendido por aire y por gas natural.

[163] La Tabla 1 que aparece abajo ilustra una comparación de los contaminantes producidos usando un sistema de combustión alimentado por aire y gas, un sistema de combustión alimentado por oxígeno y gas, y un sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho. Los contaminantes mostrados son monóxido de carbono (CO), compuestos gaseosos de nitrógeno NOx), materia particulada con un tamaño menor de 10 micrones (PM10), materia particulada total (PT), compuestos gaseosos que contienen azufre (SOx) y compuestos orgánicos volátiles de carbono (VOC).

[164] Los datos se muestran en dos formas, a saber: toneladas producidas por año (TPY) y libras producidas por millón de BTUs usados (lbs/MMBTU). Los paréntesis que siguen los datos de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO representan las reducciones de contaminante respecto a las del sistema de combustión alimentado por aire y gas.

TABLA 1 - ANALISIS DE GASES DE CHIMENEA PARA SISTEMAS DE COMBUSTION DE AIRE-GAS, OXIGENO-GAS Y OXIGENO-PETROLEO

	AIRE-GAS		OXIGENO-GAS		OXIGENO-PETROLEO	
Contaminante	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU
CO	4,88	2,0E-2	1,51	6,0E-3 (68,9)	1,32	5,0E-3 (73,0)
NOx	24,38	1,0E-1	0	0 (100,00)	10,04	0,041 (58,8)
PM10	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,146	6,0E-4 (-410)
PT	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,169	6,9E-4 (-490)
SOx	0,146	6,0E-4	4,5E-2	1,9E-4 (69)	1,39	5,7E-3 (-848)
VOC	0,582	2,4E-3	4,0E-1	1,6E-3 (31)	3,33	1,4E-2 (-471)

55
260

[165] Los valores para PM10, PT, S Ox y VOC para el sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho muestran aumentos (así como reducciones negativas). Esto se debe en parte a que en el ejemplo de sistema de combustión no se usan procesos de tratamiento "pos-combustión". Hay que decir que apropiados procesos "pos-combustión" incluirían filtros de bolsa (para la materia particulada) y lavadores (para los gases que contienen azufre) y resultarían en reducciones de al menos aproximadamente 98,99 a 95 por ciento, respectivamente, en las cantidades de las emisiones. Los valores obtenidos en la TABLA 1 se basaron en la reducción en el consumo de combustible observado y fueron determinado de conformidad con los criterios aceptados de la Agencia de Protección Medio-Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tal como lo establecen las tablas AP42 de la USEPA (disponibles en el sitio web de la USEPA).

[166] Hay que anotar que los valores que aparecen arriba se basan en el control del medio-ambiente dentro del horno en el cual se usa el sistema de combustión de oxígeno-combustible. Es decir, los valores mostrados arriba que indican reducción en los contaminantes para los sistemas de combustión de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO requieren que el horno en el cual están instalados los sistemas de combustión estén diseñados para limitar el ingreso de aire (es decir de nitrógeno en la atmósfera de combustión) a una cantidad insignificante.

[167] Así, como lo apreciarán las personas con experiencia en este campo de la técnica, el uso de oxígeno de alta pureza (o de aire altamente enriquecido con oxígeno) y de cualquier combustible basado en carbono es altamente adaptable a muchos sistemas industriales existentes. Hay que decir que los usos para tal sistema en aplicaciones industriales estándar y convencionales proporcionará un miriada de ventajas y beneficios respecto a los sistemas alimentados y sobre-alimentados por aire que se usan actualmente. Aunque muchas de las actuales

5-6
209

plantas físicas pueden requerir rediseño y modificación para incorporar el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible para mejorar el rendimiento y la producción, se ha contemplado que los beneficios ganados haciendo esos cambios en diseño y estructura, tales como reducción en los costos de operación, por ejemplo menores costos en combustible, menores costos de capital y disminución de las emisiones, serán bastante mayores que los costos para hacer esos cambios.

[168] En la presente revelación ha de sobreentenderse que las palabras "un" o "una" incluyen tanto el singular como también el plural. A la inversa, cualquier referencia a ítems plurales ha de incluir, cuando sea apropiado, el singular.

[169] De lo anterior se observará que se pueden hacer numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse del verdadero espíritu y alcance de los conceptos novedosos de la presente invención. Se ha de sobrentender que las formas específicas de realización ilustradas no tienen propósito limitante y que de ellas no se debe inferir limitación alguna. La revelación tiene el propósito de cubrir mediante las reivindicaciones adjuntas todas las modificaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones.

57
270Reivindicaciones

1. Un sistema de combustión de oxígeno-combustible que comprende:

un horno que tiene al menos un quemador y que est configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno que tiene una pureza de al menos aproximadamente 85 por ciento;

un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono;

medios para alimentar el oxígeno y el combustible basado en carbono al horno en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro;

medios para limitar el exceso ya sea de oxígeno o de combustible basado en carbono a menos del 5 por ciento respecto a la proporción estequiométrica; y

medios para controlar la combustión del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama por encima de aproximadamente 2482°C, y para producir una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

2. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el combustible basado en carbono es un gas.

3. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el gas es gas natural.

4. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 1, el cual incluye una planta criogénica para producir el oxígeno.

5-8
271

5. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el combustible basado en carbono es un combustible sólido.

6. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el combustible basado en carbono es un combustible líquido.

7. Un sistema de combustión de oxígeno-combustible que comprende:

un horno que tiene un medio-ambiente controlado, no teniendo el horno substancialmente fuga alguna del medio-ambiente exterior al interior, y que está configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

un abastecimiento de agente oxidante para abastecer oxígeno de una pureza predeterminada;

un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono; medios para alimentar el oxígeno y el combustible basado en carbono al horno en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro;

medios para limitar el exceso ya sea de oxígeno o de combustible basado en carbono a menos del 5 por ciento respecto a la proporción estequiométrica; y

medios para controlar la combustión del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama por encima de aproximadamente 2482°C, y para producir una corriente de gas de escape del horno la cual tiene substancialmente cero compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión provenientes del agente oxidante.

8. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el combustible basado en carbono es gas.

9. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el gas es gas natural.

10. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 7 el cual incluye una planta productora de oxígeno.

11. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el combustible basado en carbono es un combustible sólido, y en el cual todos los compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión provienen del combustible sólido.

12. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el combustible basado en carbono es un combustible líquido, y en el cual todos los compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión provienen del combustible líquido.

13. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el medio-ambiente controlado no tiene substancialmente nitrógeno alguno.

14. Un horno que comprende:

una zona de combustión;

un quemador;

un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer a través del quemador un combustible basado en carbono a la zona de combustión;

un abastecimiento de agente oxidante para abastecer oxígeno de una pureza predeterminada al horno para combustión con el combustible basado en carbono;

medios para controlar la combustión del oxígeno y del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama mayor de aproximadamente 1649°C y para producir una corriente

de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de 593°C;

estando el horno configurado par evitar substancialmente la introducción de aire.

15. El horno de acuerdo con la reivindicación 14, incluyendo un abastecimiento de aire para abastecer aire que contiene oxígeno a la zona de combustión para combustión con el combustible basado en carbono y el oxígeno de pureza predeterminada.

16. El horno de acuerdo con la reivindicación 14, incluyendo un conducto de combustible para abastecer el combustible basado en carbono al quemador, y en el cual el oxígeno de pureza predeterminada es abastecido al horno a través del conducto de combustible.

17. El horno de acuerdo con la reivindicación 14, en el cual el oxígeno de pureza predetermina es abastecido al horno separadamente y aparte del combustible basado en carbono.

18. El horno de acuerdo con la reivindicación 14, en el cual la pureza del oxígeno es de al menos 85 por ciento.

19. Un sistema de combustión de oxígeno-combustible que comprende:

un horno que tiene al menos un quemador y que está configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

un abastecimiento de oxígeno para administrar oxígeno de una pureza predeterminada mayor del 21 por ciento;

un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono;

medios para alimentar el oxígeno y el combustible basado en carbono al horno en un proporción controlada del uno respecto al otro;y

6/
272

medios para controlar la combustión del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama por encima de 1649°C.

20. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 19, incluyendo medios para producir una temperatura de llama por encima de 2482°C.

21. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 19, en el cual los medios de control producen una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de 593°C.

22. El sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con la reivindicación 19, en el cual una corriente de gas de escape del horno muestra una reducción de al menos 20 por ciento de compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión en comparación con un agente oxidante de aire ambiental.

FIG. 1

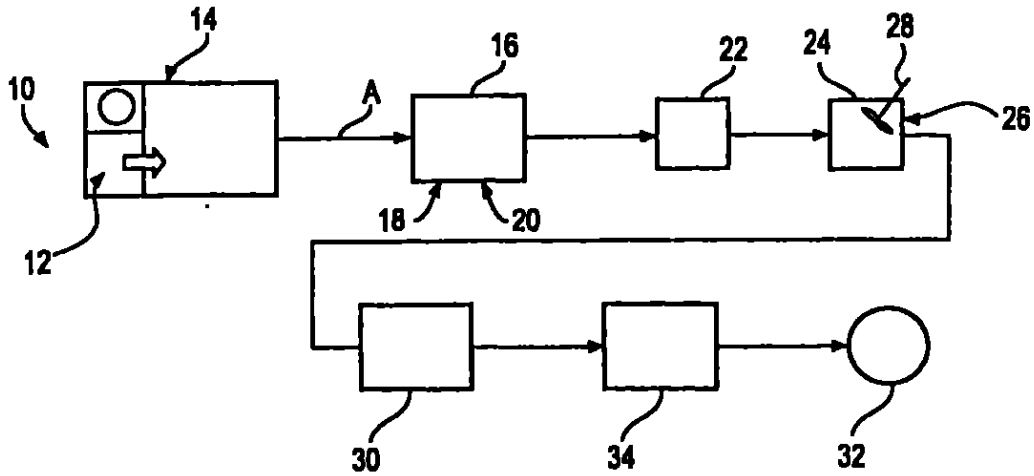


FIG. 2

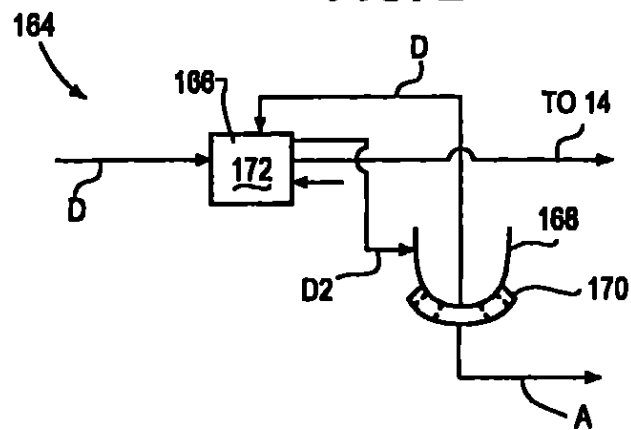


FIG. 3

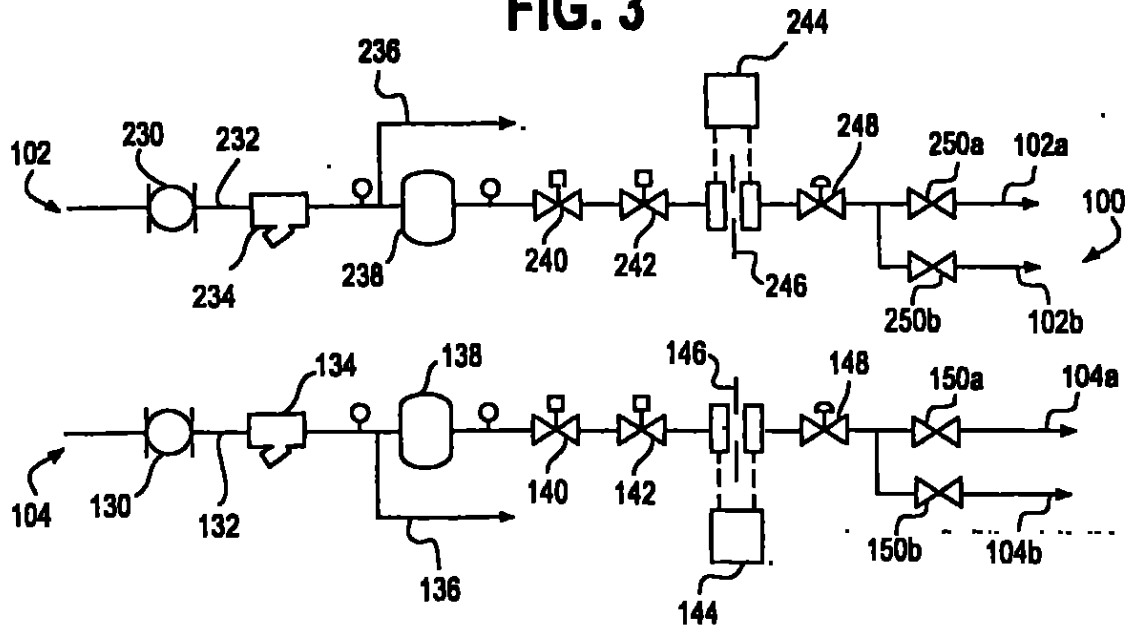
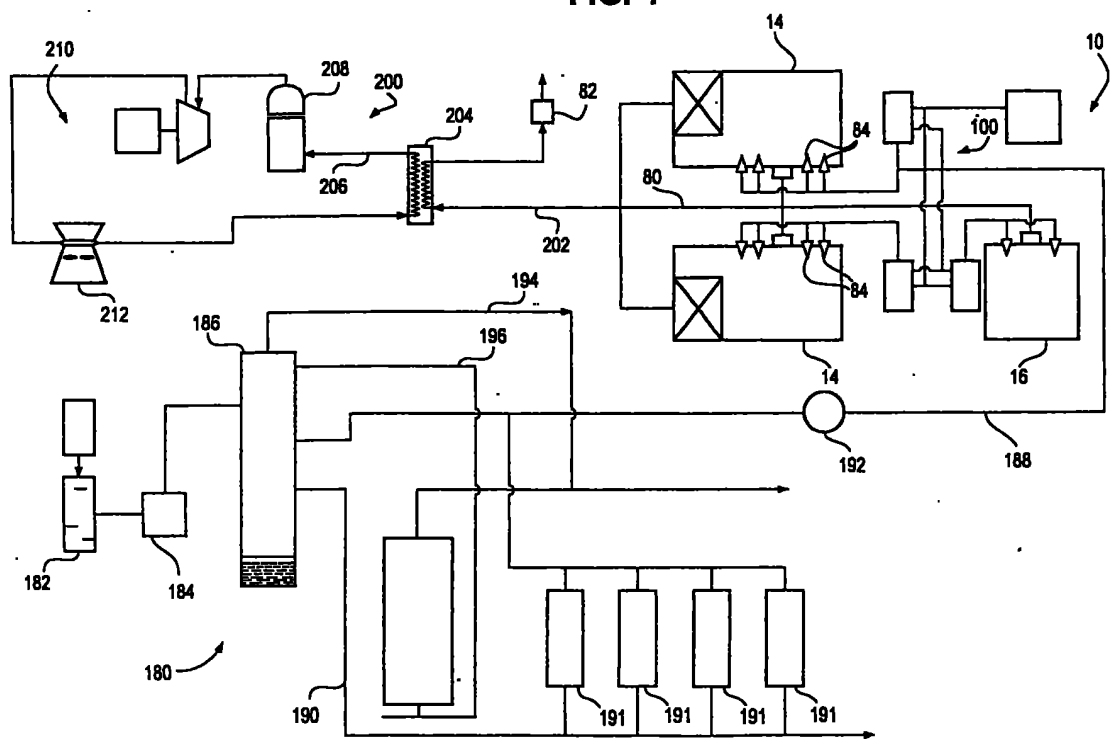


FIG. 4



2/5

WO 02/088400

PCT/US02/08701

276

64
277

FIG. 5

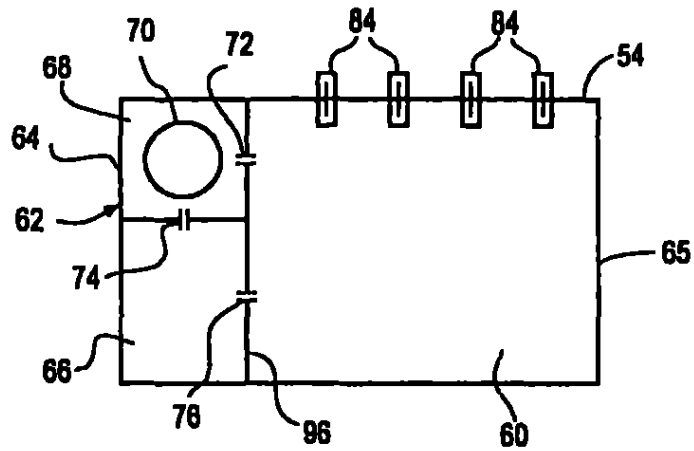


FIG. 6

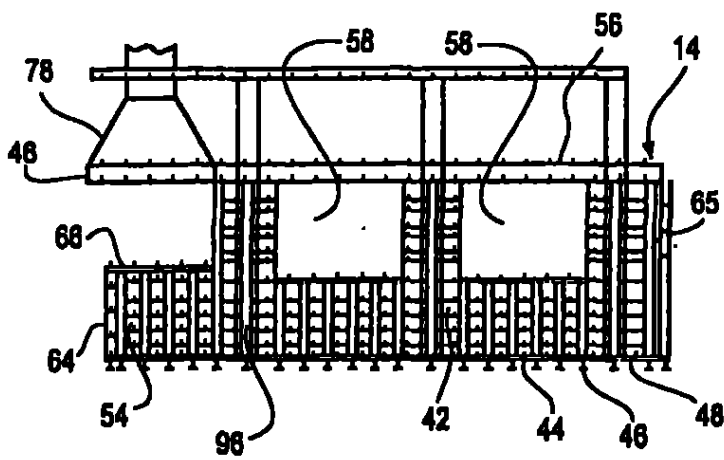


FIG. 7

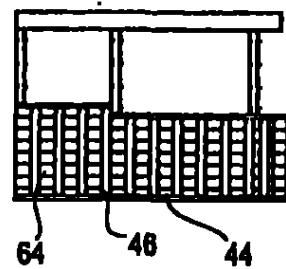


FIG. 8

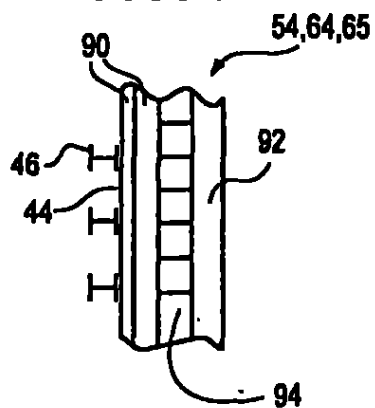
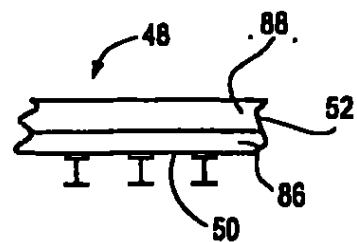


FIG. 9



4/5

FIG. 10

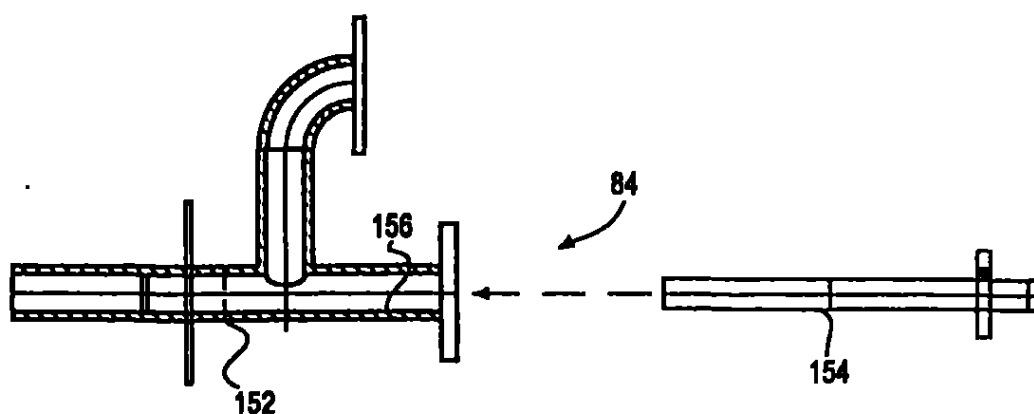
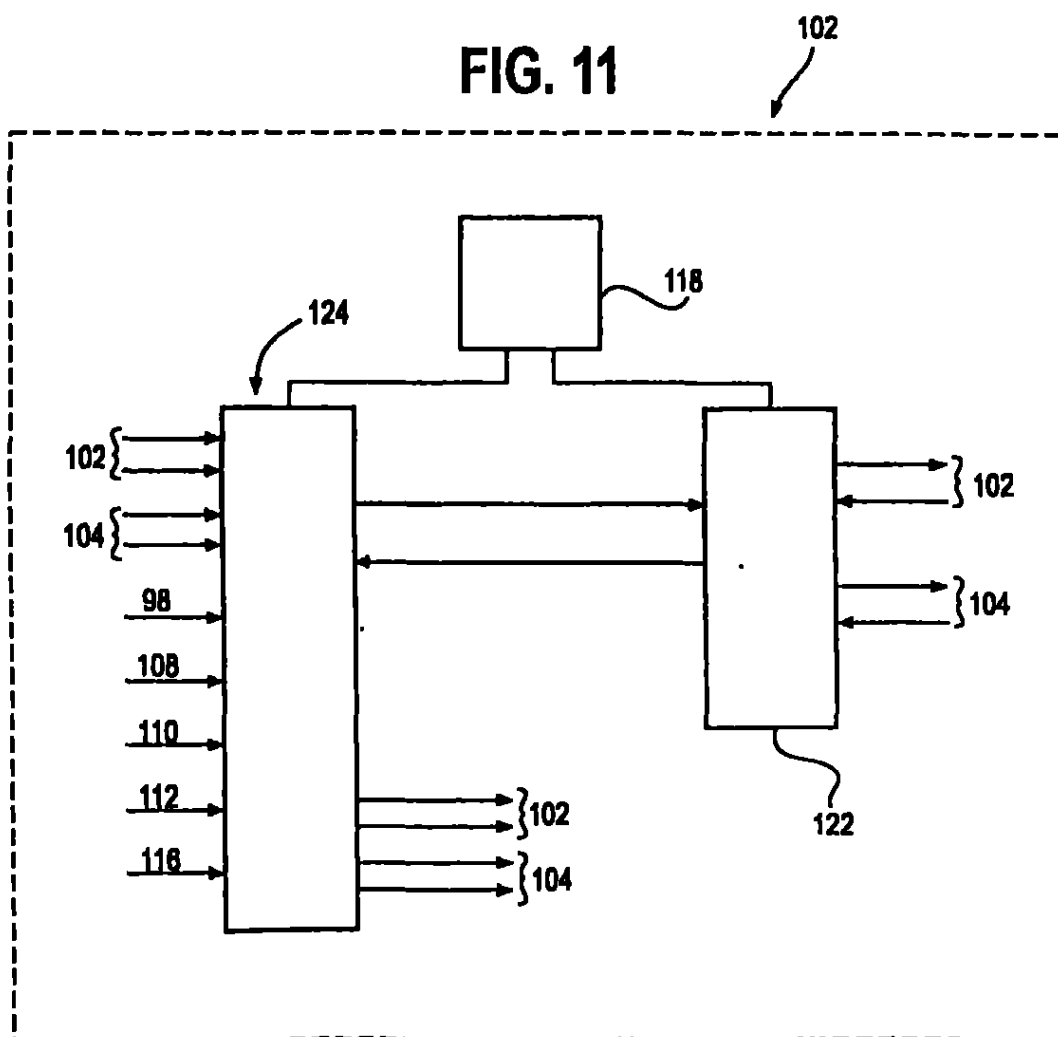


FIG. 11



66
279

5/5

FIG. 12

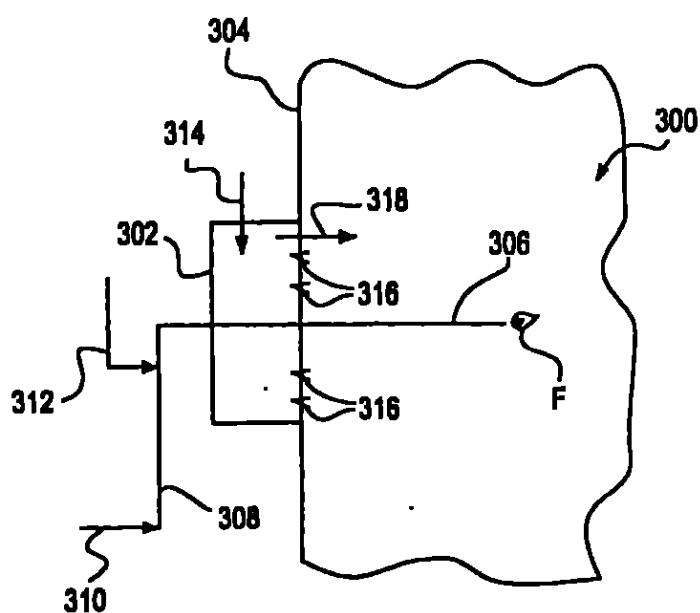
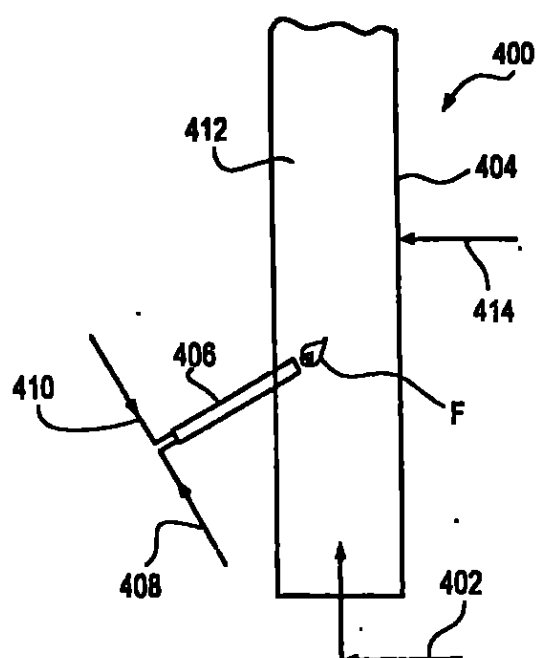


FIG. 13





US006436337B1

(12) **United States Patent**
Gross

(10) Patent No.: **US 6,436,337 B1**
(45) Date of Patent: **Aug. 20, 2002**

(54) **OXY-FUEL COMBUSTION SYSTEM AND
USES THEREFOR**

(75) Inventor: **Dietrich M. Gross, Wilmette, IL (US)**

(73) Assignee: **Jupiter Oxygen Corporation, Schiller
Park, IL (US)**

(*) Notice: **Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 0 days.**

(21) Appl. No.: **09/843,679**

(22) Filed: **Apr. 27, 2001**

(51) Int. Cl.⁷ **C22B 8/00**

(52) U.S. Cl. **266/242; 266/200; 266/900;
266/901**

(58) Field of Search **266/200, 216,
266/217, 242, 280, 286, 900, 901**

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,547,624 A	12/1970	Gray
3,734,719 A	5/1973	Bates et al.
3,904,180 A	9/1975	Basu et al.
3,953,970 A	5/1976	Claxton et al.
4,169,584 A	10/1979	Manglick
4,730,336 A	3/1988	Hennissen et al.
4,989,841 A	2/1991	Tokumasa et al.

5,871,343 A	2/1999	Baukal, Jr. et al.
5,883,918 A	3/1999	Cobb et al.
5,954,498 A	9/1999	Joshi et al.
6,190,160 B1	2/2001	Hibon et al.

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

EP 0962540 A1 * 8/1999

* cited by examiner

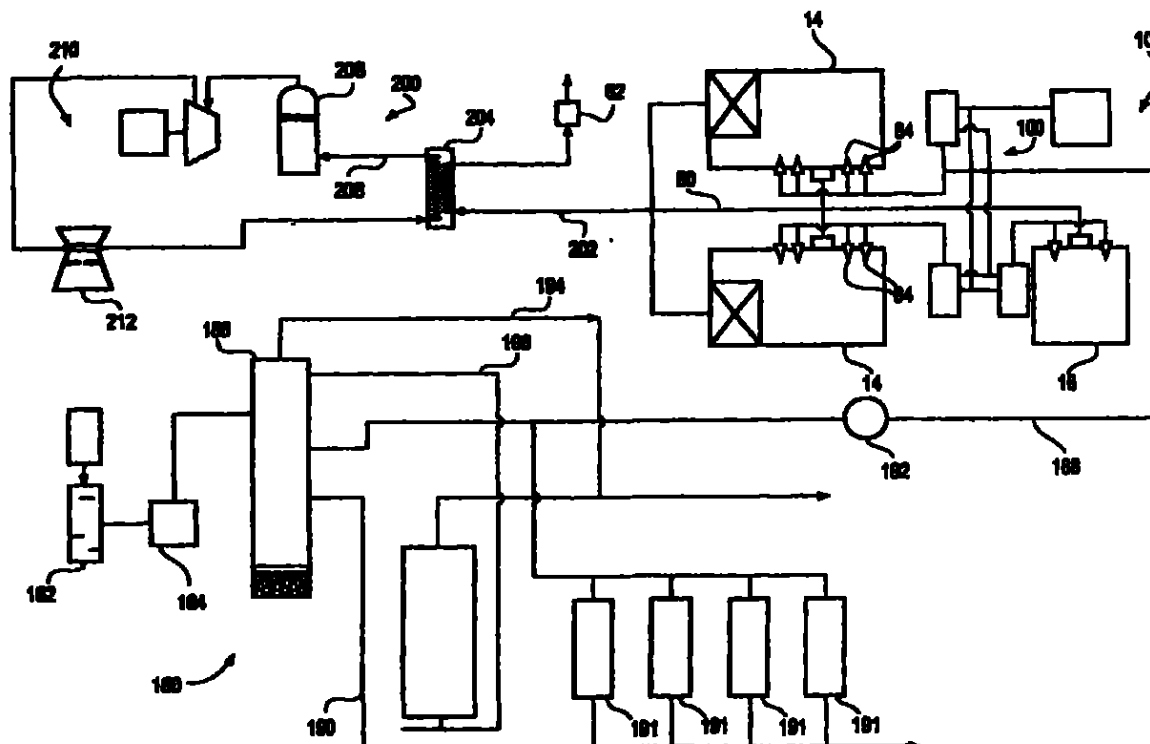
Primary Examiner—Scott Kasler

(74) Attorney, Agent, or Firm—Welsh & Katz, Ltd.

(57) **ABSTRACT**

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having at least one burner, an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity, and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of 4500° F. The exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent and reduced green-house gases. Substantially less carbon based fuel is required than conventional combustion systems without a loss of energy output.

22 Claims, 5 Drawing Sheets



68
201

FIG. 1

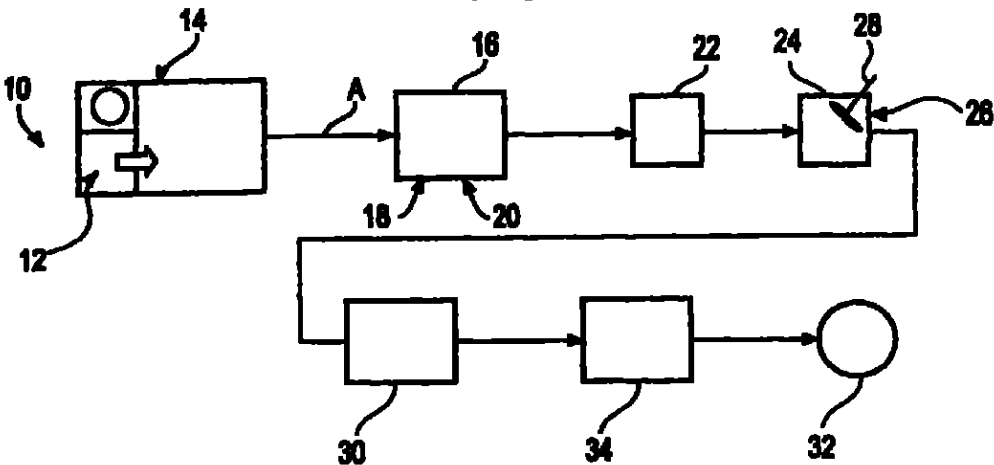


FIG. 2

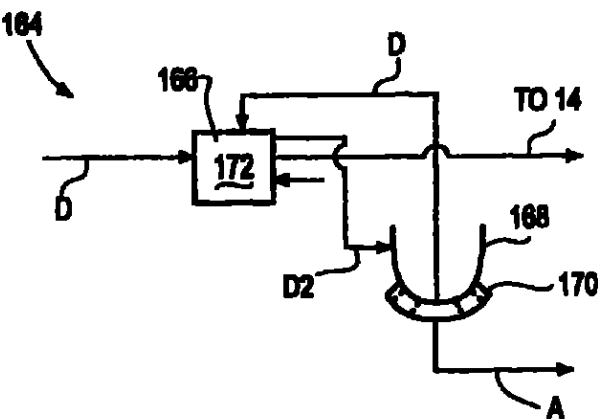
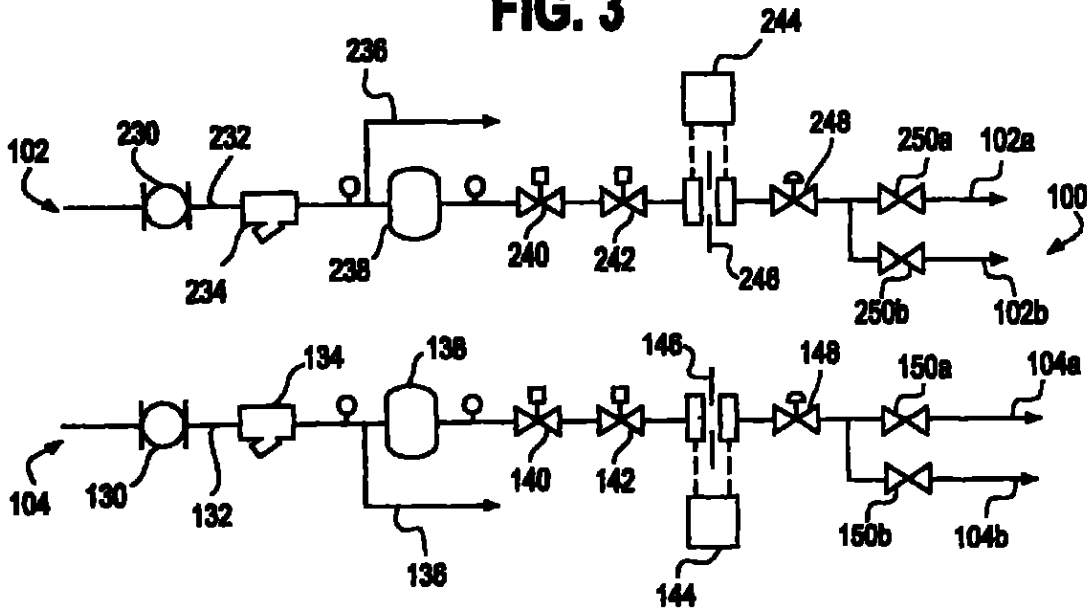
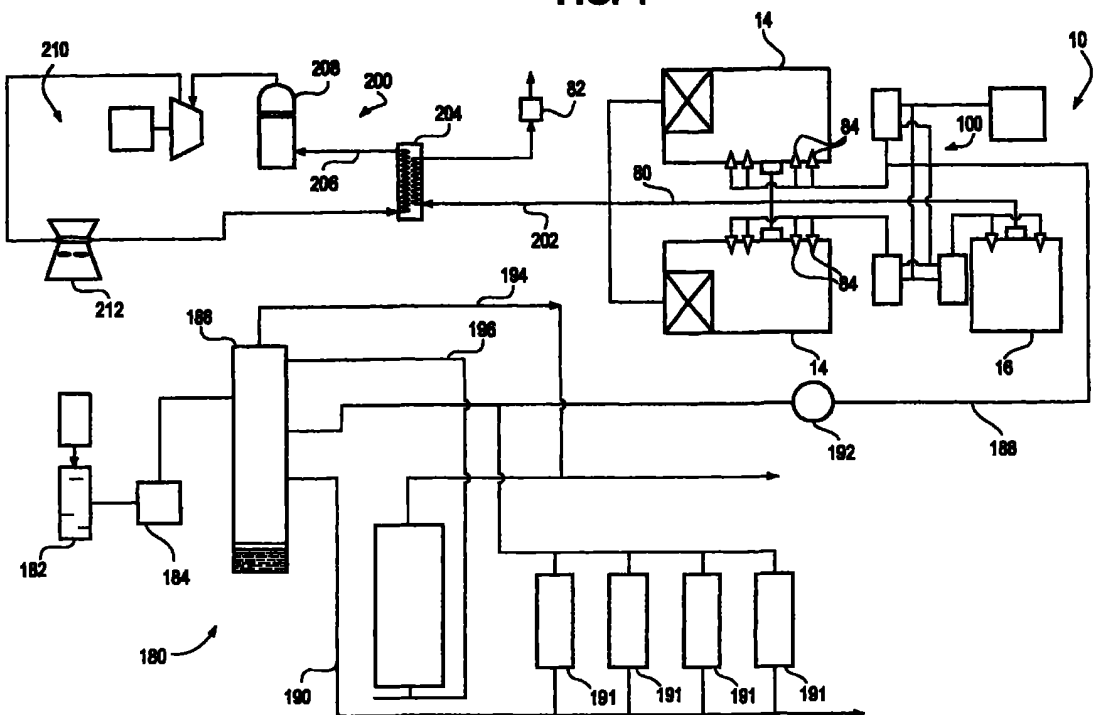


FIG. 3



69

FIG. 4



70
203 16m

FIG. 5

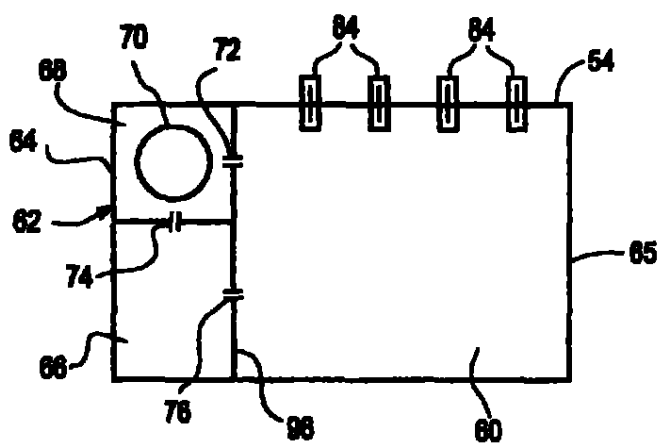


FIG. 6

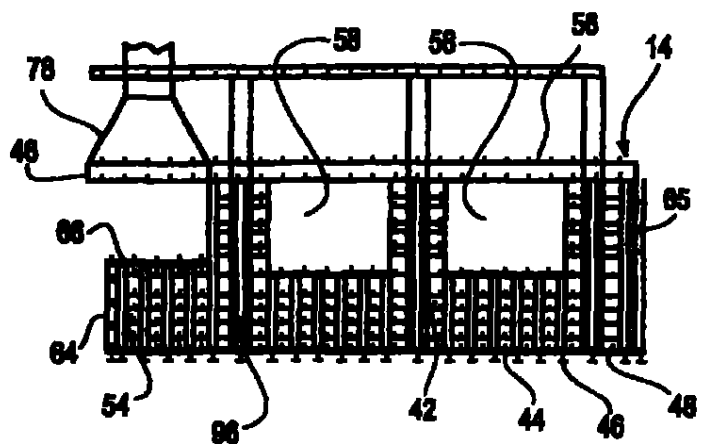


FIG. 7

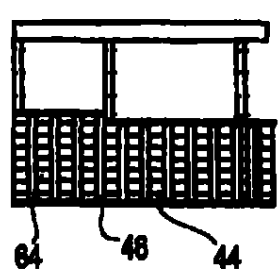


FIG. 8

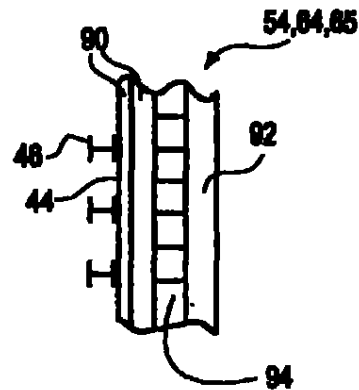
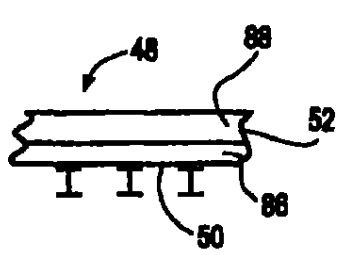


FIG. 9



Handwritten signature/initials.

FIG. 10

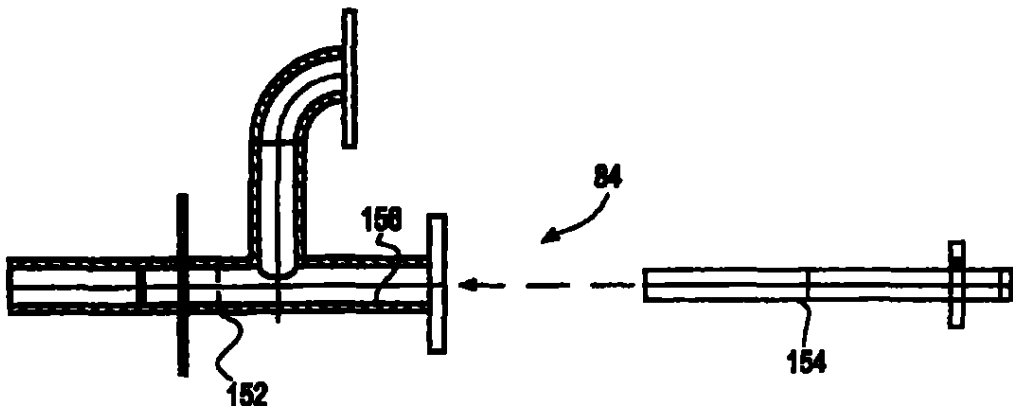
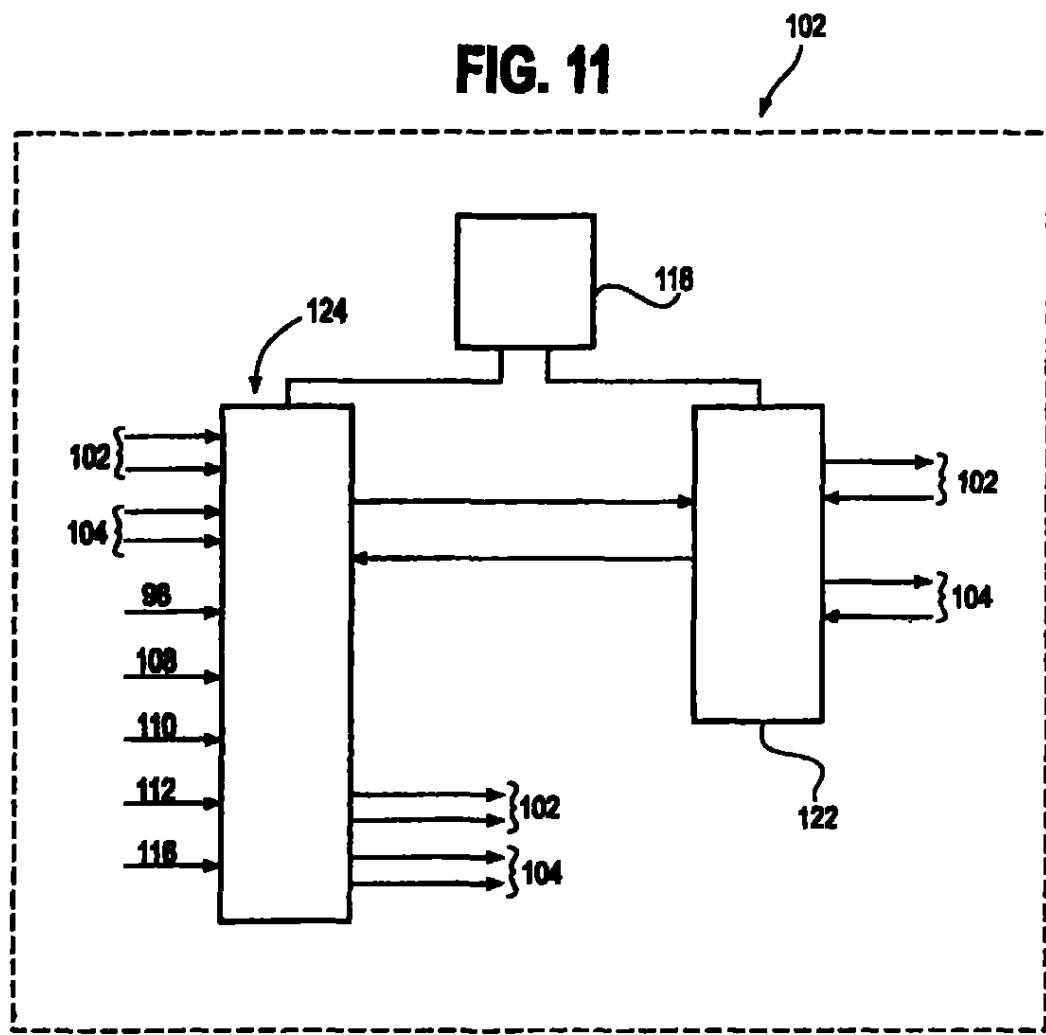


FIG. 11



72/8

FIG. 12

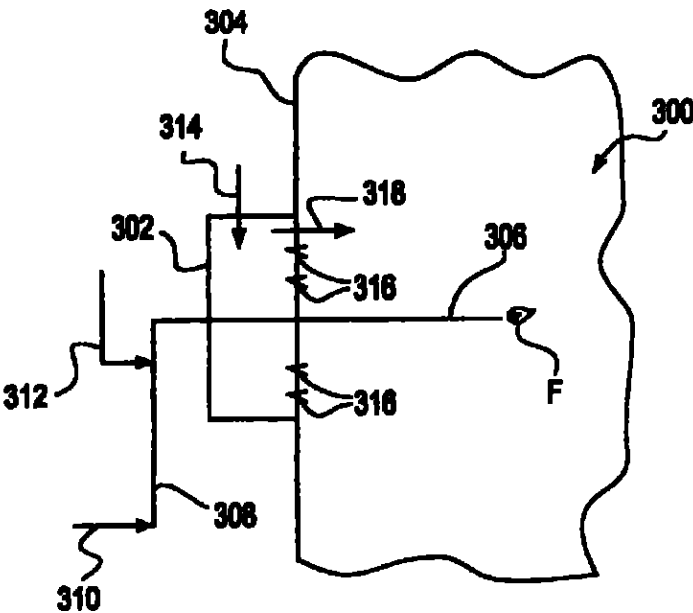
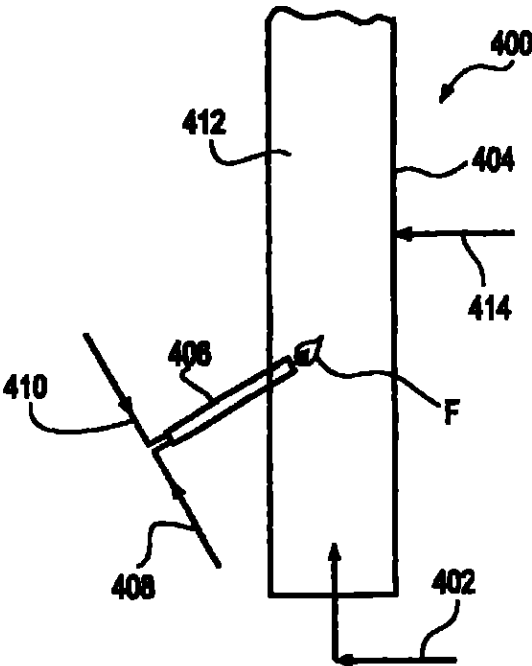


FIG. 13



OXY-FUEL COMBUSTION SYSTEM AND
USES THEREFOR

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present invention pertains to an oxygen fueled combustion system. More particularly, the present invention pertains to an oxy-fueled combustion system in which the production of green-house gases is reduced and in which fossil fuel consumption is reduced.

Oxygen fueled burner systems are known, however, their use is quite limited. Oxy-fueled burner systems are generally only used in those applications in which extremely high flame temperatures are required. For example, these systems may be used in the glass making industry in order to achieve the temperatures necessary to melt silica to a fusion temperature. Otherwise, it is commonly accepted that structural and material limitations dictate the upper temperatures to which many industrial systems can be subjected. To this end, air fueled or air fired combustion systems are used in boilers, furnaces and the like throughout most every industrial application including manufacturing, electric power generating and other process applications.

In particular, air fueled combustion systems or electric heating systems are used throughout the steel and aluminum making industries, as well as the power generation industry, and other industries that rely upon carbon based fuels. In air fueled systems, air which is comprised of about 79% nitrogen and 21% oxygen, is fed, along with fuel into a furnace. The air fuel mixture is ignited creating a continuous flame. The flame transfers energy in the form of heat from the fuel air mixture into the furnace.

In the steel and aluminum industries, air fueled furnaces and electric furnaces have been used as the primary heat source for creating molten metals. With respect to air fueled furnaces, it is conventionally accepted that the energy requirements, balanced against the thermal limitations of the process equipment, mandate or strongly support the use of these types of combustion systems. As to the use of electric furnaces in the aluminum industry, again, conventional wisdom supports this type of energy source to achieve the temperatures necessary for aluminum processing.

One drawback to the use of air fueled combustion systems, is that these systems produce NOx and other green-house gases such as carbon dioxide, sulfur dioxide and the like, as an inherent result of the combustion process. NOx and other green-house gases are a large contributor to environmental pollution, including, but not limited to acid rain. As such, the reduction in emission of NOx and other green-house gases is desirable, and as a result of regulatory restrictions, emission is greatly limited. To this end, various devices must be installed on these combustion systems in order to limit and/or reduce the levels of NOx and other green-house gases produced.

Another drawback with respect to air fueled furnaces is that much of the energy released from the combustion process is absorbed or used to heat the gaseous nitrogen present in the air that is fed to the furnace. This energy is essentially wasted in that the heated nitrogen gas is typically, merely exhausted from the heat source, e.g., furnace. To this end, much of the energy costs are directed into the environment, through an off-gas stack or the like. Other drawbacks of the air fed combustion systems known will be recognized by skilled artisans.

Electric furnaces likewise have their drawbacks. For example, inherent in these systems as well is the need for a source of electricity that is available on a continuous basis,

essentially without interruption. In that large amounts of electric power are required to operate electric furnaces, it is typically necessary to have these electric furnaces located in proximity to electric generating plants and/or large electrical transmission services. In addition, electric furnaces require a considerable amount of maintenance to assure that the furnaces are operated at or near optimum efficiency. Moreover, inherent in the use of electric furnaces is the inefficiency of converting a fuel into electrical power (most large fossil fueled power stations that use steam turbines operate at efficiencies of less than about 40 percent, and generally less than about 30 percent). In addition, these large fossil fueled stations produce extremely large quantities of NOx and other green-house gases.

For example, in the aluminum processing industry, and more specifically in the aluminum scrap recovery industry, conventional wisdom is that flame temperatures in furnaces should be maintained between about 2500° F. and 3000° F. This range is thought to achieve a balance between the energy necessary for providing sufficient heat for melting the scrap aluminum, and maintaining adequate metal temperatures in the molten bath at about 1450° F. Known furnaces utilize a design in which flame temperatures typically do not exceed 3000° F. to assure maintaining the structural integrity of these furnaces. That is, it is thought that exceeding these temperature limits can weaken the support structure of the furnace thus, possibly resulting in catastrophic accidents. In addition, stack temperatures for conventional furnaces are generally about 1600° F. Thus, the temperature differential between the flame and the exhaust is only about 1400° F. This results in inefficient energy usage for the combustion process.

It is also believed that heat losses and potential damage to equipment from furnaces in which flame temperatures exceed about 3000° F. far outweigh any operating efficiency that may be achieved by higher flame temperatures. Thus, again conventional wisdom fully supports the use of air fueled furnaces in which flame temperatures are at an upper limit of about 3000° F. (by flame stoichiometry) which assures furnace integrity and reduces energy losses.

Accordingly, there exists a need for a combustion system that provides the advantages of reducing environmental pollution (attributable to NOx and other green-house gases) while at the same time providing efficient energy use. Desirably, such a combustion system can be used in a wide variety of industrial applications, ranging from the power generating/utility industry to chemical processing industries, metal production and processing and the like. Such a combustion system can be used in metal, e.g., aluminum, processing applications in which the combustion system provides increased energy efficiency and pollution reduction. There also exists a need, specifically in the scrap aluminum processing industry for process equipment (specifically furnaces) that are designed and configured to withstand elevated flame temperatures associated with such an efficient combustion system and to increase energy efficiency and reduce pollution production.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having a controlled environment, and includes at least one burner. The combustion system includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The present oxy fuel combustion system increases the efficiency of fuel consumed (i.e., requires less fuel), pro-

duces zero NO_x (other than from fuel-borne sources) and significantly less other green-house gases.

The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The combustion system preferably includes a control system for controlling the supply of carbon based fuel and for controlling the supply of oxygen to the furnace. In the control system, the supply of fuel follows the supply of oxygen to the furnace. The supply of oxygen and fuel is controlled by the predetermined molten aluminum temperature. In this arrangement, a sensor senses the temperature of the molten aluminum.

The carbon based fuel can be any type of fuel. In one embodiment, the fuel is a gas, such as natural gas, methane and the like. Alternately, the fuel is a solid fuel, such as coal or coal dust. Alternately still, the fuel is a liquid fuel, such as a fuel oil, including waste oils.

In one exemplary use, the combustion system is used in a scrap aluminum recovery system for recovering aluminum from scrap. Such a system includes a furnace for containing molten aluminum at a predetermined temperature, that has at least one burner. The recovery system includes an oxygen supply for supplying oxygen to the furnace through the combustion system. To achieve maximum efficiency, the oxygen supply has an oxygen purity of at least about 85 percent.

A carbon based fuel supply supplies a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

In such a recovery system, the combustion of oxygen and fuel creates energy that is used for recovering aluminum from the scrap at a rate of about 1083 BTU per pound of aluminum recovered. The fuel can be a gas, such as natural gas, or it can be a solid fuel or a liquid fuel.

In the recovery system, heat from the furnace can be recovered in a waste heat recovery system. The recovered heat can be converted to electrical energy.

In a most preferred system, the combustion system includes a system for providing oxygen. One such system separates air into oxygen and nitrogen, such as a cryogenic separation system. Other systems include membrane separation and the like. Oxygen can also be provided by the separation of water into oxygen and hydrogen. In such systems, the oxygen can be stored for use as needed. Other systems are known for oxygen generation/separation.

The oxygen fueled combustion system, generally, can be used with any furnace that has a controlled environment. That is, with any furnace that has substantially no in-leakage from an external environment. Such a combustion system includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel.

The oxygen in the oxygen supply and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to

one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. In such a furnace, an exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds. That is, because there is no nitrogen fed in with the fuel, unless there is fuel-borne nitrogen, the exhaust gas contains substantially no nitrogen containing combustion products (i.e., NO_x), and significantly lowered levels of other green-house gases.

This combustion system can use any carbon based fuel including gas, such as natural gas or methane, any solid fuel such as coal or coal dust or any liquid fuel, such as oil, including waste and refined oils. In such a combustion system, any nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds are formed from the fuel-borne nitrogen.

A method for recovering aluminum from scrap includes feeding aluminum scrap into a melting furnace and combusting oxygen and a carbon based fuel in the furnace. In the combustion of the oxygen and fuel, the oxygen and fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The aluminum is melted in the furnace, contaminant laden aluminum is removed from the furnace and substantially pure molten aluminum is discharged from the furnace. The method can include the step of recovering aluminum from the contaminant laden aluminum, i.e., dross, and charging the recovered aluminum into the furnace.

The method can include recovering waste heat from the furnace. The waste heat recovered can be converted to electricity.

A furnace for recovering aluminum from scrap aluminum includes a bath region for containing molten aluminum at a predetermined temperature, and at least one burner. An oxygen supply supplies oxygen having a purity of at least about 85 percent and a carbon based fuel supply supplies fuel, such as natural gas, coal, oil and the like.

The oxygen in the oxygen supply and the fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace has a temperature of not more than about 1100° F.

In one embodiment, the furnace is formed from steel plate, steel beams and refractory materials. The furnace walls are configured having a steel beam and plate shell, at least one layer of a crushable insulating material, at least one layer of a refractory brick, and at least one layer of a castable refractory material. The furnace floor is configured having a steel beam and plate shell and at least two layers of refractory material, at least one of the layers being a castable refractory material.

A salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum is also disclosed that includes the steps of introducing the dross-laden aluminum into a furnace. The furnace has an oxygen fuel combustion system producing a flame temperature of about 5000° F., and having substantially no excess oxygen. The dross-laden aluminum melts within the furnace.

An upper portion of the melted dross-laden aluminum is skimmed to produce a heavily dross-laden product. The

74
/ 85

5

heavily dross-laden product is pressed in a mechanical press to separate the aluminum from the heavily dross-laden product to produce a concentrated heavily dross-laden product. The method can include the step of returning the concentrated heavily dross-laden product to the furnace. Introduction of the dross-laden aluminum into the furnace is carried out in near direct flame impingement to release the oxides from the dross.

These and other features and advantages of the present invention will be apparent from the following detailed description, in conjunction with the appended claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE SEVERAL VIEWS OF THE DRAWINGS

The benefits and advantages of the present invention will become more readily apparent to those of ordinary skill in the relevant art after reviewing the following detailed description and accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is an overall flow scheme of an exemplary aluminum scrap recovery process having a melting furnace with an oxygen fueled combustion system, in which green-house gas production and fuel consumption are reduced, embodying the principles of the present invention;

FIG. 2 is an overall flow scheme of a dross processing operation continued from FIG. 1 having a recovery furnace having an oxygen fueled combustion system embodying the principles of the present invention;

FIG. 3 is an exemplary natural gas supply train and oxygen supply train for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 4 is an overall plant scheme showing the oxygen supply, from a cryogenic plant, and flow to the furnaces, and further illustrating an exemplary waste heat recovery plant;

FIG. 5 is a schematic illustration of an aluminum melting furnace for use with an oxygen fueled combustion system in accordance with the principles of the present invention;

FIG. 6 is a side view of the furnace of FIG. 5;

FIG. 7 is a front view of the melting furnace of FIG. 6;

FIGS. 8 and 9 are partial cross-sectional illustrations of a side wall and the floor of the furnace, respectively;

FIG. 10 illustrates a burner assembly for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 11 is a schematic illustrations of an exemplary control system for use with an oxygen fueled combustion system of the present invention

FIG. 12 is a schematic view of an exemplary power boiler or furnace front wall illustrating a burner and an air feed arrangement, and showing the incorporation of an oxy fuel combustion system therein embodying the principles of the present invention; and

FIG. 13 is a schematic illustration of a waste incinerator showing the incorporation therein of an oxy fuel combustion system embodying the principles of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

While the present invention is susceptible of embodiment in various forms, there is shown in the drawings and will hereinafter be described a presently preferred embodiment with the understanding that the present disclosure is to be considered an exemplification of the invention and is not intended to limit the invention to the specific embodiment illustrated. It should be further understood that the title of this section of this specification, namely, "Detailed Descrip-

6

tion Of The Invention", relates to a requirement of the United States Patent Office, and does not imply, nor should be inferred to limit the subject matter disclosed herein.

An oxy-fuel combustion system uses essentially pure oxygen, in combination with a fuel source to produce heat, by flame production (i.e., combustion), in an efficient, environmentally non-adverse manner. Oxygen, which is supplied by an oxidizing agent, in concentrations of about 85 percent to about 99+ percent can be used, however, it is preferable to have oxygen concentration (i.e., oxygen supply purity) as high as possible. In such a system, high-purity oxygen is fed, along with the fuel source in stoichiometric proportions, into a burner in a furnace. The oxygen and fuel is ignited to release the energy stored in the fuel. For purposes of the present disclosure, reference to furnace is to be broadly interpreted to include any industrial or commercial heat generator that combusts fossil (carbon-based) fuels. In a preferred system, oxygen concentration or purity is as high as practicable to reduce green-house gas production.

It is contemplated that essentially any fuel source can be used. For example, in a present application, as will be described in more detail below, oxygen is fed along with natural gas, for combustion in a furnace. Other fuel sources contemplated include oils including refined as well as waste oils, wood, coal, coal dust, refuse (garbage waste) and the like. Those skilled in the art will recognize the myriad fuel sources that can be used with the present oxy-fuel system.

The present system departs from conventional processes in two principal areas. First, conventional combustion processes use air (as an oxidizing agent to supply oxygen), rather than essentially pure oxygen, for combustion. The oxygen component of air (about 21 percent) is used in combustion, while the remaining components (essentially nitrogen) are heated in and exhausted from the furnace. Second, the present process uses oxygen in a stoichiometric proportion to the fuel. That is, only enough oxygen is fed in proportion to the fuel to assure complete combustion of the fuel. Thus, no "excess" oxygen is fed into the combustion system.

Many advantages and benefits are achieved using the present combustion system. It has been observed, as will be described below, that fuel consumption, to produce an equivalent amount of power or heat is reduced, in certain applications, by as much as 70 percent. Significantly, this can provide for a tremendous reduction in the amount of pollution that results. Again, in certain applications, the emission of NOx can be reduced to essentially zero, and the emission of other green-house gases reduced by as much as about 70 percent over conventional air-fueled combustion systems.

An Exemplary Scrap Aluminum Recovery Process

In one specific use, the oxygen fueled combustion system (also referred to as oxy-fuel or oxy-fueled) is used in a scrap aluminum recovery plant 10. A flow process for an exemplary plant is illustrated in FIGS. 1-2. Scrap aluminum, generally indicated at 12 is fed into a melting furnace 14, and is liquefied. The plant 10 can include multiple furnaces operated in parallel 14, one of which is illustrated. The liquefied or molten aluminum is drawn from the melting furnace 14 and is fed into a smaller holding furnace or holder 16. The holding furnace 16 is also an oxy-fueled furnace. The molten aluminum is drawn from the melting furnace 14 as necessary, to maintain a certain, predetermined level in the holding furnace 16. This can result in continuously drawing down from the melting furnace 14 or drawing down in "batches" as required.

In the holding furnace 16, chlorine and nitrogen (as gas), as indicated at 18 and 20, respectively, are fed into the

75
288
288

holding furnace 16 to facilitate drawing the impurities from the molten aluminum. The chlorine and nitrogen function as a gaseous fluxing agent to draw the impurities from the aluminum. This can also be carried out in the melting furnaces 14 to increase cleaning of oily and dirty scrap. Other contemplated fluxing agents include gaseous argon hexafluoride. The holder 16 is actively heated and operates at a molten metal temperature of about 1300° F. The air temperature in the holder 16 is slightly higher.

The molten aluminum is then filtered. Presently, a bag-type particulate filter 22 is used. However, other types of filters are known and can be used. The filtered, molten aluminum is then fed through a degasser 24.

In the degasser 24, a fluxing agent, such as an inert gas (again, nitrogen is used, as indicated at 26) is fed into the molten aluminum. The molten aluminum is agitated, such as by a mechanical stirrer 28 and the fluxing agent 26 bubbles up through the molten aluminum to draw impurities (e.g., oxides) from the aluminum.

The molten aluminum is then fed into an in-line caster 30. In the caster 30, the aluminum is cast into continuous plate. The cast thickness can be any where from 0.010 inches up to 0.750 inches or more. The aluminum can then be rolled into a coil, as indicated at 32, for use or further processing. In a present method, the aluminum proceeds from the caster 30 through a pair of hot milling machines 34 where the plate is milled to a final thickness or gauge, presently about 0.082 inches (82 mils) and is then rolled to form the coil 32. Those skilled in the art will understand and appreciate the various end forming and finishing processes that can be carried out on the metal. All such forming and finishing processes are within the scope and spirit of the present invention.

Returning to the melting furnace 14, as stated above, it is an oxy-fuel furnace. It is fed with a carbon based fuel, such as natural gas, in stoichiometric proportion with oxygen. This is unlike known furnaces which use fuel and air mixtures. The fuel/air mixtures feed nitrogen as well as oxygen into the furnace to support the combustion process. This results in the production of undesirable NOx off-gases. In addition, the nitrogen also absorbs energy from the molten aluminum, thus reducing the overall efficiency of the process. That is, because the percentage of nitrogen in air is so great, a large amount of energy goes into heating the nitrogen rather than the aluminum.

The oxygen/natural gas proportions in the present melting and holding furnaces 14, 16 are about 2.36:1. This ratio will vary depending upon the purity of the oxygen supply and the nature of the fuel. For example, under perfect conditions of 100 percent pure oxygen, the ratio is theoretically calculated to be 2.056:1. However, the oxygen supply can have up to about 15 percent non-oxygen constituents and natural gas is not always 100 percent pure. As such, those skilled in the art will appreciate and understand that the ratios may vary slightly, but the basis for calculating the ratios, that is stoichiometric proportions of fuel and oxygen, remains true.

This proportion of oxygen to fuel provides a number of advantages. First, this stoichiometry provides complete combustion of the fuel, thus resulting in less carbon monoxide, NOx and other noxious off-gas emissions (other green-house gases generally). In addition, the controlled oxygen proportions also reduce the amount of oxides present in the molten aluminum. This, in turn, provides a higher quality final aluminum product, and less processing to remove these undesirable oxide contaminants.

It is important to note that accurately controlling the ratio of oxygen to fuel ensures complete burn of the fuel. This is in stark contrast to, for example, fossil fueled power plants

(e.g., utility power plants), that struggle with LOI (loss on ignition). Essentially, LOI equates to an incomplete burn of the fuel. In the present method, on the other hand, substantially pure oxygen, in tightly controlled stoichiometric proportion to the fuel, minimizes and possibly eliminates these losses. In addition, in the present method, the only theoretical NOx available is from fuel-borne NOx, rather than that which could otherwise result from combustion using air. Thus, NOx, if not completely eliminated is reduced to an insignificant amount compared to conventional combustion systems.

Oxides in aluminum come from two major sources. First, from the combustion process; second, from oxides that reside in the aluminum. This is particularly so with poor grade scrap or primary metal. The present process takes into consideration both of these sources of oxides and reduces or eliminates their impact on the final aluminum product. First, the present process reduces oxides that could form as a result of the oxygen fed for the combustion of the fuel. This is achieved by tightly controlling oxygen feed to only that necessary by stoichiometric proportion for complete combustion of the fuel.

The present process takes into consideration the second sources of oxides (that residing in the aluminum), and removes these oxides by virtue of the degassing and filtering processes. The benefits are two fold. The first is that less byproduct in the form of dross D is formed; second, the quality of the finished product is greatly enhanced.

It has also been found that using a fuel/oxygen mixture (again, rather than a fuel/air mixture) results in higher flame temperatures in the melting furnace. Using oxy-fuel, flame temperatures in the furnace of about 5000° F. are achieved. This is higher, by about 1500° F. to 2000° F., than other, known furnaces. It has also been observed that using oxy-fuel, in conjunction with these higher flame temperatures, results in an extremely highly efficient process. In one measure of efficiency, the energy required (in BTU) per pound of processed aluminum is measured. In a known process, the energy required is about 3620 BTU/lb of processed product. In the present process and apparatus, the energy requirements are considerably less, about 1083 BTU/lb of metal processed. It should also be noted that although the "fuel" discussed above in reference to the present method is natural gas, any organic based fuel, such as oil (including waste oil), coal, coal dust and the like can be used.

For purposes of understanding the thermodynamics of the process, the theoretical energy required to melt a pound of aluminum is 504 BTUs. However, because specific process inefficiencies are inherent, the actual energy required was found to be about 3620 BTU/lb when using an air fired combustion system. These inefficiencies include, for example, actual processing periods being less than the actual time that the furnace is "fired", and other downstream process changes, such as caster width increases or decreases. In addition, other "losses" such as stack (heat) losses, and heat losses through the furnace walls, add to this energy difference.

Moreover, the value of 1083 BTU/lb is an average energy requirement, even taking into account these "losses". It has been found that when the process is running at a high efficiency rate, that is when aluminum is processed almost continuously, rather than keeping the furnace "fired" without processing, the "average" energy requirement can be reduced to about 750 BTU/lb to 900 BTU/lb.

The Melting Furnace

A present melting furnace 14 is constructed primarily of steel and refractory materials. Referring to FIGS. 5-9, the

furnace shell 42 has outside dimensions of about 20 feet in width by 40 feet in length by 12 feet in height. The steel shell structure 42 is formed from plates and beams. Plates and beams will be identified through as 44 and 46, respectively, for the furnace shell 42 structure, except as indicated. The floor 48 is fabricated from one-inch thick plate 44 steel that is welded together. Each weld is above a beam 46 to assure the integrity of the furnace shell 42.

Additional beams 46 are provided for furnace floor 48 support. Each beam 46 provides an 8 inch wide flange about every 18 inches on center. All of the beams 46 (exclusive of the joining beams which are completely seam welded) are stitched to the bottom plate 50. This permits "growth" in the steel due to thermal expansion during heating.

The beams 46 provide support and rigidity to the furnace bottom 52. The beams 46 maintain the furnace 14 rigid to reduce flexing during installation of the refractory and long-term use. The beams 46 also provide support so that during operation of the furnace 14 the mechanical loading on the refractory materials is minimized. The beams 46 also elevate the furnace bottom 52 from the floor on which the furnace 14 is mounted. This allows heat, which builds up under the furnace 14, to escape.

The furnace side walls 54 are likewise made of a steel plate and beam construction. Two wall regions are recognized, above metal line and below metal line. This distinction is made for both strength and thermal value considerations.

Below metal line, the plate is $\frac{3}{4}$ inch thick. Above metal line, the plate is $\frac{1}{2}$ inch thick. In the present furnace, the first eight feet are considered (for design purposes) below metal line and the upper four feet are considered (for design purposes) above metal line.

Beams 46 are used to support the side walls 54 of the furnace 14. The beams 46 are set on 18 inch centerlines running vertically along the furnace 14. Horizontal beams 46 are placed at 18 inch centers below metal line and 24 inch centers above metal line. Although the metal line in the furnace 14 varies, it is, for design considerations, the highest level of metal that will be in the furnace 14 during normal operation. Additional factors may be considered, in which, for example, the metal line can be assumed to be nine inches above the maximum fill line of the furnace 14.

The roof 56 of the furnace 14 is a hanging refractory design. Beams 46 are on 18 inch centers along the width of the furnace 14. Additional beams 46 are welded to beams extending across the width, which additional beams are oriented along the length of the furnace 14. Clips are mounted to the beams, to which precast refractory blocks are mounted.

The furnace 14 has two main doors 58 on the furnace side 54. The doors 58 are used during operation for skimming or cleaning the main furnace heat chamber or bath area 60 and for main furnace chamber 60 charging. Dross D (the contaminant slag that forms on the surface of molten aluminum) builds up inside the furnace 14 and must be cleaned out at least once a day to maintain heat transfer rates. The dross D is removed by opening the doors 58 and skimming the surface of the molten metal pool.

Although during typical operation, metal or scrap is placed in the charge well 62, and is subsequently melted and transferred to the furnace heat chamber 60, some types of scrap, such as cove or ingot, are better placed directly in the main heat chamber 60. The doors 58 can be opened to transfer these types of loads to the heat chamber 60.

The doors 60 are of steel and refractory construction. The doors 60 are hung on a mechanical pulley system (not

shown) and are protected by safety chains to prevent them from falling to the ground in the event that the pulley system fails. Powered winches are used to operate the doors. The doors 60 are hung from a common cross member, which is supported from the side 54 of the furnace 14.

The main charge well 62 is located on the front 64 of the furnace 14. The well 62 is partitioned from the furnace heat chamber 60 and is partitioned into two areas: a charging area 66; and a circulation pump area 68. A circulation pump 70 circulates metal from the hot pool of molten aluminum in the main chamber 60 to the scrap charging area 62.

There are three openings, indicated at 72, 74 and 76, between the chambers 60, 66 and 68. The first opening 72 is in the partition between the main chamber 60 and the pump well 68. The second opening 74 is in the partition between the pump well 68 and the scrap charging area 66. The third opening 76 is in the partition between the charge well 66 and the main heat chamber 60.

All of the openings 72, 74 and 76 are about one foot below the physical or actual metal line of the furnace 14. The openings 72, 74 and 76 are below metal line to maintain the heat inside the main chamber 60, and to prevent the flow of oxides between the partitioned areas of the furnace 14 and to maintain the furnace air-tight (i.e., maintain a controlled environment within the furnace 14). The pump 70 is located in an elevated area to prevent excessive furnace garbage, rocks and dross from accumulating in and around the pump 70.

An exhaust hood 78 is positioned above the charge chamber 66. The hood 78 is fabricated from steel and is mounted on beams 46 similar to those from which the side walls 54 are fabricated. The beams 46 are positioned on a plate that covers the side wall of the well, essentially capping it off. The hood 78 vents the main furnace chamber 60 through a stack 80 (see FIG. 4). The stack 80 exhausts gases from the furnace 14 and can be closed off to maintain pressure in the furnace 14.

Exhaust gases exit the furnace 14 and flow to a baghouse 82 (FIG. 4). The baghouse 82 is used primarily for collection of unburned carbon from paints, oils, solvents and the like inherent in scrap aluminum processing.

The furnace 14 includes four oxy-fuel burners 84. The burners 84 are installed on a side wall 54 of the furnace 14, opposite the doors 58. Steel is constructed surrounding the burners 84 to allow for mounting the burners 84 and maintaining the surrounding wall rigid.

The furnace 14 is lined with refractory materials. The floor 48 is fabricated from two different refractory materials. The first material 86 is a poured slab, about six inches thick, of a high strength, castable refractory, such as AP Green KS-4, that forms a sub hearth. A floor material 88 is poured above the sub hearth 86 in monolithic fashion having a thickness of about thirteen to fourteen inches. The floor material 88 is an AP Green 70AR refractory. It is a 70 percent alumina, aluminum resistant castable refractory.

The walls 54, 64 and 65 are fabricated from two layers of insulation 90 followed by the 70AR castable or monolithic, phosphate bonded 85 percent alumina (MONO P85) plastic ramming refractory 92. The alumina content of this material is 85 percent. The backing insulation 90 is insulating board, about two inches thick in the side walls 54 of the furnace and about three inches thick on the front and rear walls 64, 65 of the furnace. The difference in insulation 90 thickness is to accommodate thermal expansion of the furnace 14. The furnace walls 54, 64 and 65 will grow about $\frac{1}{4}$ inch per linear foot. Thus, the furnace 14 will grow (along the 40 foot length) a total of about 5 inches. In that there is six inches

77
20

of backing insulation 90 (each the front and rear has three inches), the insulation 90 will crush and allow for growth in the furnace walls 54, 64 and 65 without damaging the furnace shell 42.

Insulating brick 94 is positioned between the crushable insulation board 90 and the cast refractory 92. The roof 56 is fabricated from 70 percent alumina castable refractory. The material is poured into six roof sections. Each door 58 frame is fabricated from 70 percent alumina AR refractory.

The furnace 14 has two sets of tap out blocks (not shown). The first set is positioned on the bottom 52 of the furnace and serve as drain blocks. A second set of blocks is positioned sixteen inches from the floor of the furnace and serves as a transfer set of blocks. The transfer blocks are set on the outside of the furnace for ease of replacement. The inside of the furnace is formed and the blocks are set on the outside and keyed in with a plastic ram.

There are two ramps (not shown) in the furnace, one at each of the main charge doors 58. The ramps are used for deagging or skimming dross D from the molten metal and for allowing scrap aluminum to slide into the furnace. The ramps are composed of two materials. The base is a low grade aluminum resistant brick, stacked to form a ramp. The brick is covered with a castable refractory (about 18 inches thick), such as the 70AR material. The ramp extends from the edge of the sill into the furnace.

The wall 96 that separates the main furnace chamber 60 and the charge well 62 is about 22 inches thick and is formed from 70AR material. The wall 96 is cast as a single monolithic structure.

The furnace 14 can operate in several modes from empty to holding and maintaining molten aluminum. When the furnace 14 is at peak operation it is about 80 percent to 90 percent full. The molten metal is at about 1400° F. and the air temperature in the furnace is about 1800° F. The stack (exhaust) temperature is about 1000° F. Air temperature is measured by a thermocouple 98 in the upper side wall 54 of the furnace 14. Metal temperature is measured at the base of the circulating pump 70.

Scrap is charged or introduced to the furnace in the charge well 62 in increments of about 3,000 pounds. It will be understood that the size or weight of the introduced scrap will vary depending upon the size and capacity of the furnace 14.

Molten metal from the main chamber 60 is pumped onto the cool metal charge by the circulation pump 70. The molten metal transfers heat, by conductivity, to the cold metal charge. The charge metal rapidly heats and melts.

The primary mode of heat transfer to the charged aluminum is by conduction. The large heat sink provided by the full furnace enhances this effective method of heat transfer. When the furnace is 80 percent to 90 percent of capacity there is about 220,000 pounds of molten aluminum at about 1400° F. When scrap is charged into the furnace 14 the bath acts as a heat sink and provides the necessary energy for heat transfer to the charged metal. This is true regardless of the dimensions and capacity of the furnace, as adapted to the present oxy-fuel combustion system. The circulating pump 70 assists melt of the scrap by providing hot molten metal to the charge well 62 from the main furnace chamber 60. In addition, by circulating the molten metal, heat stratification throughout the furnace 14 is maintained low.

It has been found that by pumping or circulating the molten metal, the temperature differential between the top and the bottom of the furnace 14 (a height difference of about 42 inches) is only a few degrees Fahrenheit. Thus, the furnace 14 acts as a stable heat sink to provide a consistent heat source for conduction heat transfer to the charge metal.

Heat is input to the furnace 14 by the burners 84. It is believed that the principal mode of heat transfer to the furnace 14 is radiation, with some convective heat transfer. Because of the high flame temperatures, the oxy fuel combustion system provides efficient radiative heat transfer. The geometry of the furnace 14 is further designed to increase the heat transfer rate by maximizing the metal surface area over which heat transfer from the flame to the metal occurs.

In addition, the refractory materials above the metal line are made of a high alumina content material. These materials reflect the heat from the burners back into the molten metal. This is in contrast to conventional furnace designs which, rather than reflecting heat back into the molten metal pool, permit much of the heat to escape from the furnace.

For example, traditional furnaces use refractories that have a lower alumina content and a higher insulation value on the upper side walls. The present design, on the other hand, uses higher alumina content refractories in order to reflect more of the radiative heat from the burners 84 to the bath area 60. Again, this is contrary to conventional furnace design. In traditional furnaces the lower side walls (defined as below metal line) use higher alumina refractories for strength. In contrast, the present design uses a lower alumina castable refractory, which is more advanced and has a higher insulating value. In a sense the present design goes completely against the traditional application of refractories.

Moreover, because there is no nitrogen fed to the furnace 14 (other than fuel-borne nitrogen) the volume of hot gases (e.g., exhaust) going through the furnace 14 is very low. Advantageously, this increases the residence time of the gases in the furnace 14 providing additional opportunity for heat transfer to the molten metal. Convective heat transfer, while relatively low, is more efficient than in conventional furnaces. In that the hot gases in the present furnace 14 approach 5000° F. and have a relatively long residence time, much of the heat is removed prior to exhaust.

A present furnace 14 operates at an energy input required to melt of about 1083 BTU per pound. The maximum heat input to the furnace 14 is about 40 million BTU (40 MMBTU) per hour, and typical heat input is about 10 to 12 MMBTU per hour. The heat input will, of course, depend upon the scrap being melted and the production requirements. The furnace is capable of making up to 40,000 pounds per hour.

The Combustion System

The combustion system, indicated in FIG. 3, generally at 100, is a dual combustion train that operates on a fuel, such as natural gas, fuel oil, waste oil, coal (pulverized, dust and liquefied), and an oxygen source. The system is designed as two complete combustion systems to facilitate maintenance, as well as to conserve energy during low use periods. One oxygen train 102 and one exemplary natural gas fuel train 104 are shown in FIG. 3.

The combustion system 100 is controlled by a control system (illustrated in FIG. 11, indicated generally at 120) that includes a central processing unit ("CPU") 106 that monitors all data inputs from metal temperature, air temperature, fuel and oxygen flow, and provides an operator interface. Each combustion train can be operated individually or in tandem based on operating conditions and requirements.

The main process input variable used to control the combustion system 100 is the metal bath temperature as measured by a thermocouple 108. Alternative process input variables include signals from one of several air temperature sensors 98, 110. The control scheme includes inputs from thermocouples (type K) located in the furnace upper wall,

exhaust stack and furnace roof, indicated generally as inputs 112. The primary thermocouple 108 is located in the molten metal bath are 60. The air thermocouples 112 are sheathed with alumina or like materials to protect the measuring element from the atmosphere. The bath thermocouple 108 is protected from molten metal by a ceramic sheath that is resistant to heat and to the corrosive conditions found in molten metal. The bath thermocouple 108 is configured to signal initiation of the burner system only when the metal bath temperature falls below a preset level.

The stack thermocouple or the roof thermocouple 116 is designed for over temperature protection. This thermocouple 116 is connected to an over-temperature circuit that shuts down the combustion trains 102, 104 to protect the refractory and furnace 14 structure in the event that an over temperature limit is reached.

The upper wall thermocouple 98 is primarily used to monitor the furnace 14 air temperature. It can also be used to operate the furnace 14 in the absence of the molten bath thermocouple 108. The upper wall thermocouple 112 is also used as the process input variable when metal is first being charged in the furnace 14 or when the level of molten metal drops below the molten bath thermocouple 108.

An operator has full control over individual temperature set points. A control panel 118 includes temperature indicators for all of the thermocouples 92, 108, 110, 112, 114, 116. The operator can adjust each thermocouple set point until operation limits are achieved. The operational set point limits can be internally set within the CPU so that any desired temperature range can be established.

The combustion system control system 120 is configured in two parts. The first part 122 includes hard wired safety devices, such as relays, limit switches and the like, as will be recognized by those skilled in the art. These include all gas pressure switches, shut off and blocking valves, and flame detectors. The second part 124 of the control system 120 is monitoring and automatic control functions carried out by the CPU 106.

The gas trains 104 are configured in pairs so that one train can be in service while the other is out of service for, for example, maintenance or low-load/use periods. Each gas train 104 is appropriately sized via-a-vis oxygen flow requirements. Each gas train 104 commences at a ball-type shut off valve 130. Piping 132 routes the gas through a strainer 134 to remove any debris present in the line. A gas pilot line 136 extends from the piping 132 after the strainer 134.

A backpressure regulator 138 is used to lower the header pressure. Presently, the oxygen pressure is set at about 18 pounds per square inch (psig). A shut off valve 140 and safety valves 142 follow in line. A differential pressure flow meter 144 is located downstream of the safety valves 142. The flow meter 144 measures the temperature and differential pressure of the gas as it flows through an orifice 146. A present flow meter 144 is a Rosemount model 3095 differential pressure flow meter.

Through these measurements a flow rate is determined and a signal is transmitted to the control system 120. A control valve 148 is in line following the flow meter 144. In a present arrangement, a modulating control valve is used that receives an output signal from the control system 120. The valve 148 transmits a signal to the control system 120, and specifically, the CPU 106, indicating the actual valve 148 position.

The gas train 104 then splits into two separate lines 104a,b each having a valve 150a,b. The valves 150a,b are used to balance each burner 84 so that the gas flow is evenly distributed.

The oxygen train 102 is similar to the gas train 104, except that the line sizes and components are larger to accommodate the larger flow rate of oxygen. An exemplary oxygen train 102 is illustrated in FIG. 3, in which those components corresponding to fuel train 104 components are indicated by 200 series number identifiem.

Referring to FIG. 10, the burners 84 are a fairly straight forward design. Each of the four burners 84 includes a main inlet nozzle body 152 that extends into the furnace 14. A fuel gas inlet 154 extends to the main inlet body 152 external of the furnace wall 54. Oxygen is input to the main inlet nozzle body 152 and mixes with the fuel gas. An igniter (not shown) extends through a central opening 156 in the main inlet body 152. The igniter provides a spark for ignition of the fuel/oxygen mixture.

Operation of the combustion system 100 is readily carried out by a combination of operated initiated action and automatic control by the CPU 106. Power is provided to the system controls which enables the CPU 106 and the hard-wired safeties portion 122 of the control system 120. The CPU 106 initiates communication with the control valves, thermocouples, and relays that are part of the hard-wired safeties portion 122. The gas and oxygen pressure switches are of a dual hi/low switch design. The low-pressure switch is a normally closed signal while the high-pressure side is a normally open signal. The CPU 106 determines whether a the proper signal is present and allows the program to continue. If an improper signal is recognized, audible and visual alarms are actuated. The control scheme also monitors whether the gas and oxygen control valves 148, 248 are in the "low-fire" position. If the control valves 148, 248 are in the proper position, a signal is transmitted that allows the control system 120 to continue the startup procedure. An over-temperature signal must also be clear to allow the system 120 to continue through the start up procedure.

When all of the startup conditions are met, a nitrogen purge cycle is initiated. Nitrogen is used to purge the furnace 14 of any combustible gases that may be remaining in the furnace 14. The nitrogen purge is timed so that the volume of nitrogen through the furnace 14 is about 2.5 times the volume of the furnace 14.

After the purge is complete, one or both of the combustion trains is started. A control switch places either a pair of burners or all of the burners 84 into operation. A flame controller opens the pilot solenoids. The pilot solenoids are normally closed, however, upon starting, the solenoids are opened and gas and oxygen flow through a pilot assembly.

At the tip of the pilot assembly the gases mix and are ignited by a spark emitted controlled by the flame controller. Upon ignition, a flame detector 126 detects the presence or absence of flame and transmits a signal to the control system 120. Once a flame is detected, the control system 120 opens the main blocking valves for both the gas and oxygen.

The main fuel and oxygen shut off valves 140, 240 operate independently. The safety valves 142, 242 are configured such that if the gas valve 140 does not open, the safety valves 142, 242 do not open. When the main gas valve 140 opens, the gas and oxygen safety valves open 142, 242. With all of the main valves open, a control relay is energized as well as an indicator light for each gas train on the control panel 118. A pilot timer remains energized for a preset time period, about 30 seconds. Once the preset time duration has elapsed, the pilot circuit is de-energized and the normally closed solenoid valves are de-energized, isolating the pilot assemblies and the pilot indicator light for each burner train.

The flame detectors 126 continuously monitor the flame. Upon loss of flame indication, an alarm signal is transmitted

to the CPU 106 and the control circuit isolates the gas and oxygen shut off valves 140, 240 and blocking valves 142, 242.

Once the pilots are de-energized, furnace automatic operation is assumed by the control system 120. While the system 120 is set to "low fire", the oxygen control valves 248 are maintained in the closed position regardless of process and set point values. The gas control valves 148 are not limited in their range since gas flow follows oxygen flow. The control system 120 maintains the gas at the preset ratio.

When operating in the automatic mode, the control system 120 responds to deviations from the process and set point values. Furnace temperature is monitored and matched to the temperature set point. When the process temperature deviates from the set point temperature, an error signal is generated, and the control system 120 transmits a signal to the oxygen control valve 248. The gas control valve 148 is also controlled by the control system 120; the set point variable follows the (stoichiometrically correlated) flow rate of oxygen as established by the oxygen flow meter. The control system 120 is configured to limit the control valves 148, 248 that, in turn, limit the output power of the burners 84.

The combustion system 100, and specifically the control system 120 can be configured to meet any desired application for and in any industry that relies on carbon based fuels. For example, in the present scrap aluminum processing plant 10, there are three applications or uses of the oxygen fueled combustion system 100. The first is for melting aluminum in a high production environment (i.e., in the melting furnace 14). Second, the system 100 is present in the holding furnace 16 primarily for steady state temperature and alloy mixing of the molten aluminum. The last application is in a dross-making furnace 166 in which high temperature burners are used to release the metal units (aluminum which can be recovered for production) from the dross D (melt byproduct) by thermal shock. In each use, the burners are installed for energy conservation and environmental reasons.

Applications of the present combustion system 100 vary by thermal output (measured in maximum MMBTU per hour), size and orientation of the burners 84, as well as the temperatures at which the furnaces 14, 16, 166 are designed to operate. Those skilled in the art will recognize that mechanical differences (e.g., line sizes and the like) are needed to accommodate these differing needs, and that the specific programming of the control system 120 and CPU 106 may vary.

The present combustion system 100 provides a number of advantages over known and presently used combustion systems. For example, it has been shown through operation that there is considerable energy savings using the present combustion system 100. The oxy-fuel burners 84 operate at a much higher temperature than conventional furnaces. Thus, there is an observed increase in the heat available for melt (in other industrial applications, this increased heat can be made available for, for example, steam generation, refuse incineration and the like). This provides a reduction in the amount of fuel required to operate the furnaces 14, 16, 166. In practice of the present invention, it has been observed that the average (and estimated) thermal input required per pound of aluminum melted is decreased from about 3620 BTU per pound (in a conventional furnace) to about 1083 BTU per pound in the melting furnace 14. This is a decrease of about 70 percent. In addition, the fuel needed to maintain temperature in the holding furnace 16 has been shown to be about one-half of that of a conventional furnace.

It is believed that the fuel savings is attributed to three principal factors. First, the increased heat of the combustion system 100 permits complete burn of all fuel without excess oxygen. Second, being held to theory, it is believed that the combustion system 100 operates within a radiative (or radiant) heat transfer zone, with some heat transfer by conduction.

The system 100 is designed to take advantage of the radiant heat transfer within the furnaces 14, 16, 166 to transfer heat effectively to the metal baths. Third, because there is no nitrogen in the combustion process, the amount of gas flowing through the furnaces 14, 16, 166 is low. Thus, an increased residence time of the hot gases permits the release of a larger proportion of energy (in the form of heat) prior to exhaust from the furnaces 14, 16, 166.

Typical exhaust gas volume is fractional of that of conventional furnaces. In that there is about 80 percent less gases (essentially the nitrogen component of air) in an oxy-fueled furnace, combustion efficiency is greatly increased. In conventional furnaces, the nitrogen component of air absorbs much of the energy (again, in the form of heat) from the melt. In the present combustion system 100, oxygen (rather than air) and fuel are fed to the furnaces 14, 16, 166 and burned in a stoichiometric ratio. This is carried out without excess oxygen. Thus, there is no energy absorbed by non-combustion related materials e.g., excess oxygen or nitrogen).

The present combustion system 100 also provides for increased production. When installed as part of a melting furnace, the melting capacity or throughput of the furnace will be increased. This again is attributed to the rapid and effective heat transfer in the furnace 14. As new metal is introduced into the furnace 14, the combustion system 100 responds rapidly to provide heat to melt the fed metal and to maintain the heat (temperature) of the molten metal in the pool 60 at the set point temperature. It has been found that aluminum accepts heat very efficiently from a radiative heat source.

Perhaps most importantly, is the reduced environmental impact of the present combustion system 100, compared to presently known and used combustion systems. The present system 100 advantageously uses no nitrogen (from air) in the combustion process. Typically, NOx production occurs in a furnace as a reaction product of the heated air that is fed by the combustion system. However, in that the present system 100 uses oxygen, rather than air, any NOx produced by the present combustion system is due solely to the amount of elemental nitrogen that is in the fuel (i.e., fuel-borne nitrogen). In that fuel-borne nitrogen levels are extremely low (compared to that contributed by air in conventional furnaces), the NOx levels of the present combustion system are well below any industry standards and governmental limitations. In addition to reducing NOx production, the production of other green-house gases, such as carbon monoxide, is also greatly reduced.

In addition, to the reduced environmental impact, the present oxy fuel combustion system conserves energy because significantly more aluminum can be processed at considerably less fuel input (any carbon based fuel, including coal, coal dust, natural gas or oil). As a result of processing with less fuel usage, conservation of fuel resources is achieved. Essentially, less fuel is used in the aggregate, as well as on a per pound basis to produce aluminum. This reduces processing (e.g., fuel) costs, as well as the taxing use of fossil fuels.

Oxygen Supply

As will be recognized by those skilled in the art, the oxygen requirements for the present combustion system 100

80
293

can be quite high. To this end, although oxygen can be purchased and delivered, and stored for use in the system, it is more desirable to have an oxygen production facility near or as part of an oxy fuel combustion system, such as the exemplary scrap aluminum processing plant.

Referring now to FIG. 4, there is shown a cryogenic plant 180 for use with the present combustion system 100. The illustrated, exemplary cryogenic plant 180 produces 105 tons per day of at least 95 percent purity oxygen and 60,000 standard cubic feet per hour of nitrogen having less than 0.1 part per million oxygen. The plant 180 includes a 1850 horsepower three-stage compressor 182. The compressed air, at 71 psig enters a purifier/expander 184. The air exits the expander 184 at a pressure of 6.9 psig and a temperature of -264° F., and enters a cryogenic distillation column 186. In the column 186, air is separated (distilled) into gaseous nitrogen, liquid nitrogen, gaseous oxygen and liquid oxygen. The gaseous oxygen, indicated generally at 188, is fed directly to the combustion system 100 and the liquid oxygen, indicated generally at 190, is stored for example in tanks 191, for later use for in the combustion system 100. The oxygen pressure from the cryogenic plant 180 may be lower than that required for the combustion system 100. As such, an oxygen blower 192 is positioned between the oxygen discharge from the column 186 and the combustion system 100 feed to raise the pressure to that need for the combustion system 100.

The gaseous nitrogen, indicated generally at 194, is fed to a downstream annealing/stress relieving system (not shown) within the plant 10. These systems, which use nitrogen to treat aluminum to relieve stresses in the metal and to anneal the metal, will be recognized by those skilled in the art. In addition, the nitrogen 194 is used in the degassing units 24. The plant 10 also includes a back up supply of oxygen and nitrogen 191, 196, respectively, in liquid form in the event of, for example, maintenance or other situations in which the cryogenic plant 180 cannot supply the plant requirements. The back-up systems 191, 196 are configured to automatically supply oxygen and/or nitrogen as required, such as when the cryogenic plant 180 is off-line. Excess nitrogen can be stored, bottled and sold. Systems such as these are commercially available from various manufacturers, such as Praxair, Inc. of Danbury, Connecticut.

Heat Recovery

The aluminum processing system 10 also takes advantage of waste heat from the various processes. Specifically, the processing plant 10 can include a waste heat recovery system, indicated generally at 200 in FIG. 4. Exhaust gas, indicated at 202, from the melting furnace 14 and the holding furnace 16 is directed to one side of a waste heat recovery heat exchanger 204. In that the exhaust gas 202 is at a temperature of about 1000° F., there is a considerable amount of energy that can be recovered. In addition, energy can be recovered from the exhaust above the main furnace bath area 60.

The exhaust gas 202 is directed to the waste heat exchanger 204. A working fluid, indicated at 206, such as pentane, flows through the other side of the heat exchanger 204 under pressure. It is anticipated that a plate-type heat exchanger or a plate-and-tube type heat exchanger is best suited for this application. Those skilled in the art will recognize the various types of working fluids that can be used for the present waste heat recovery system, as well as the heat exchange systems that are used with these types of working fluids. All such systems are within the scope and spirit of the present invention.

The heated fluid 206 is then directed to a vaporizer 208 where the fluid 206 is allowed to expand into vapor. The

vapor 206 is directed to a turbine-generator set 210 to produce electricity. The vapor is then condensed, in a condenser 212, and returned to the heat exchanger 204. It is anticipated that sufficient energy to produce about 1.5 to 2.0 megawatts of power in the form of electricity can be recovered from the exhaust gas 202 from the above-described scrap processing plant 10.

Although a wide variety of working fluids 206 can be employed for use in such a waste heat or waste energy recovery system 200, in a presently contemplated system, pentane is used as the working fluid 206. Such an organic based system provides a number of advantages over, for example, steam-based systems. It is anticipated that a pentane-based working fluid 206, in a standard Rankine-cycle arrangement will allow for variations in vapor supply more readily than a steam-based system. In that the heat output from the furnaces (melting 14 and holding 16) is dependent upon metal production, rather than electrical needs, the energy input to the recovery system 200 is likely to vary and will be the controlling characteristic for power production. As such, a fluid 206 such as pentane provides the greater flexibility that is required for such a recovery system 200.

As will be recognized by those skilled in the art, the electrical power generated can be used to provide some of the power necessary for the scrap processing plant 10, including the cryogenic plant 180. Power for operating the plant 10 can be provided by an oxy fueled combustion system employed in an electric power generating plant (using a furnace or boiler), to generate steam for a steam turbine-generator set. In such an arrangement, when the power generated exceeds plant 10 requirements, the excess power can be sold to, for example, a local electric utility.

Dross Processing

Referring now to FIG. 2, the contaminants or dross D from the melting furnace 14 is further processed, separate and apart from the in-line aluminum recovery in a dross recovery process, indicated generally at 164. The dross D is removed, as by skimming, from the top of the molten aluminum pool 60 in the melting furnace 14. The dross D is pressed in a sieve-like bowl 168 by mechanical means. Pressing pushes the aluminum A from the dross D, through openings 170 in the bowl 168. The aluminum A that is pressed from the dross D is recovered and is returned to the melting furnace 14.

The oxide laden dross is fed into the recovery furnace 166 for reheating. The recovery furnace 166 is of a similar design to the melting furnace 14 in that it uses an oxy-fuel combustion system 100 design. In operation, however, the recovery furnace 166 "shocks" the dross laden material by using near direct flame impingement of about 5000° F. to release the aluminum metal from the dross D. The molten bath 172 temperature in the recovery furnace 166 is also considerably higher, about 1450° F.-1500° F., with a furnace air temperature of about 2000° F.-2200° F. In addition, the "shocking" process is carried out in a highly reduced atmosphere with substantially no excess oxygen within the furnace 166 (in contrast to conventional furnaces that operate at excess oxygen levels of about 3 to 5 percent).

The recovery furnace 166 is likewise skimmed and the resulting dross is pressed. The recovered aluminum A is transferred to the melting furnace 14. The remaining dross D2 is then sent for processing off-site, to a dross processor, for further aluminum recovery. It has been found that the present process, including the dross recovery process, provides a significant increase in the recovery of metal. The dross D2 that is ultimately shipped for further processing is

8/294

only a fraction of the original quantity of dross D, thus reducing processing costs and increasing aluminum recovery.

Importantly, the present dross recovery process 164 is carried out without the use of salts or any other additives. Rather, thermal shocking is used to release the metal from the oxides. Known recovery processes use salts to separate the oxides from the metal. In that the salts remain in the oxides, which are in turn disposed of, ultimately, the salts are likewise sent for disposal. These salts can be environmental hazards and/or toxic. As such, the present process 164 is environmentally beneficial in that it eliminates the need for these salts and thus their disposal.

As to the overall processing scheme 164, again, it has been found that the present recovery steps (e.g., double preheating with intermediate reheating) result in aluminum recovery rates that are significantly improved over those of known processes, depending upon the grade of the scrap. Multi-percent increases in the amount of metal recovered from the dross D have been achieved.

Other Applications for the Combustion System

As discussed above, it is apparent that increased efficiencies from the use of oxygen in all continuous processes can be achieved. For example, power generating plants can increase flame temperature or reduce LOI in boilers by introducing oxygen to the burning formula (rather than air). This can increase efficiencies in operation. Essentially, burning of any carbon based fuels can be enhanced by the introduction of oxygen. The benefits are both economical and environmental. To date no industry other than glass-making has embraced oxy fuel technology. In the glass making industry this technology is used not for the efficiencies that result, but because of the high melting temperature required for the glass production process.

Nevertheless, use of oxy-fueled combustion systems in all industrial and power generating applications can provide reduced fuel consumption with equivalent power output or heat generation. Reduced fuel consumption, along with efficient use of the fuel (i.e., efficient combustion) provides greatly reduced, and substantially zero, NOx emissions and significant reductions in the emission of other green-house gases.

Due to the variety of industrial fuels that can be used, such as coal, natural gas, various oils (heating and waste oil), wood and other recycled wastes, along with the various methods, current and proposed, to generate oxygen, those skilled in the art will recognize the enormous potential, *vis-à-vis* industrial applicability, of the present combustion system. Fuel selection can be made based upon availability, economic factors and environmental concerns. Thus, no one fuel is specified; rather a myriad, and in fact, all carbon based fuels are compatible with the present system. In addition, there are many acceptable technologies for producing oxygen at high purity levels. Such technologies include cryogenics, membrane systems, absorption units, hydrolysis and the like. All such fuel uses and oxygen supplies are within the scope of the present invention. Those skilled in the art will recognize that the other gases produced, such as hydrogen and nitrogen, can be stored, bottled and sold.

As discussed in detail above, one application for the present combustion is scrap aluminum processing or recovery. Other exemplary applications, as will be discussed below, include industrial power generation boilers and incinerators. These exemplary applications focus on the flexibility and applicability of this technology for broad industrial uses.

In general, the use of oxygen fuel fired combustion over current or traditional air fuel systems offers significant advantages in many areas. First is the ability to run at precise stoichiometric levels without the hindrance of nitrogen in the combustion envelope. This allows for greater efficiency of the fuel usage, while greatly reducing the NOx levels in the burn application. Significantly, less fuel is required to achieve the same levels of energy output, which in turn, reduces the overall operating costs. In using less fuel to render the same power output, a natural reduction in emissions results. Fuel savings and less emissions are but only two of the benefits provided by the present system.

Steam generators for the production of electricity, e.g., by industrial power boilers, are varied but are nevertheless fundamentally dependent upon their combustion systems to produce steam to turn a turbine-generator set. The fuels used vary based upon the design of the steam generators. However, all of the boilers require an oxidizing agent. Using the present oxy fuel combustion system, high purity oxygen is used as the sole oxidizing agent throughout the boiler or is used as a supplement to air providing the oxygen for combustion.

The benefits that can be enjoyed by other industrial applications hold true for the power industry. For example, the use of oxygen within the combustion zone enhances flame temperature while effectively cutting LOI (loss on ignition) by providing readily available oxygen for combustion. By increasing flame temperatures, greater rates of steam generation can be accomplished with the same fuel burn rate. Conversely, equal power generation or output can be recognized with lower fuel burn rates. Flame temperature will be dependent upon the concentration of the oxygen provided for combustion. To this end, with no oxygen supplementation or enrichment (i.e., pure air for combustion), flame temperatures will be about 3000° F. Referring to the above discussion, with pure oxygen as the oxidizing agent, the flame temperature will be about 4500° F. to about 5000° F. The anticipated flame temperatures for varying degrees of oxygen supplementation can be interpolated (it is believed linearly) between these temperatures.

Oxygen can also be used in conjunction with over-fired air systems or low NOx burners to reduce NOx and other green-house gases while ensuring stable flame at stoichiometry. Typical low NOx burners often increase LOI. This requires operators to burn more fuel. By adding enriched oxygen to the combustion process complete burn becomes available for fuel while at stoichiometry without additional nitrogen present (by additional air input) to create NOx.

It is anticipated that boilers will be designed around oxygen fueled combustion systems to take full advantage of the benefits of these systems. It is also anticipated that retrofits or modifications to existing equipment will also provide many of these benefits both to the operator (e.g., utility) and to the environment.

For example, FIG. 12 illustrates, schematically, a coal fired boiler or furnace 300. A wind box 302 is formed at a wall 304 of the furnace 300. A burner 306, through which the coal is introduced into the furnace 300, extends through the wind box 302. The coal is carried to the furnace 300 by a coal conduit 308. Primary air (as indicated at 310) is supplied to carry the coal (from a pulverizer, not shown) through the conduit 308 and burner 306 into the furnace 300. Tertiary air (as indicated at 312) is provided to the coal conduit 308 to assure that the coal is conveyed to the burner 306.

Secondary air (as indicated at 314) is provided from the wind box 302 directly into the furnace 300 through registers

316 on the furnace wall 304. The secondary 314 air is the primary source of air for the combustion process. In one well recognized and known system for controlling NOx, an over-fired air system (as indicated at 318) injects air (from the wind box 382), into the furnace 300 over the flame F. The underlying purposes for the over-fired air are two-fold. First is to provide sufficient oxygen to assure complete combustion of the fuel. Second is to reduce the flame temperature and thereby reduce the production of NOx.

It is anticipated that the present combustion system can replace existing combustion systems, in total, or, in the alternative, can be used to provide an oxygen supplement to the air used for combustion. Specifically, it is anticipated that high purity oxygen can be used in place of any or all of the primary 310, secondary 314 and tertiary air 312 that is used in these known combustion systems. Those skilled in the art will recognize the benefits that can be obtained using the present oxy fuel combustion system (or as in certain applications oxygen supplementation system) in power boilers or furnaces that use other fossil fuels, such as oil or gas.

Use of the present combustion system is also contemplated for use in connection with industrial waste incinerators. Typical waste incinerators operate on the basis of resonant time, temperature and excess oxygen. An oxy-fuel system will allow for greater efficiency in the operation.

Resonant time is dependent upon the physical size of the heated chamber or stack, and the velocity and volume of gases passing through the chamber or stack. As nitrogen is taken out of the mix the resonant time naturally increases because the volume of gas used in the combustion process is less (by about 80 percent). When an incinerator is specifically designed with an oxy-fuel combustion system, the incinerator requires considerably less capital cost because of the reduced size that is required.

Typical flame temperatures of oxy-fueled combustion systems are much higher than air fueled systems. Thus, the efficiency of the burn ultimately requires less thermal input from the fuel, resulting in less operating costs. One of the benefits of the oxy-fuel combustion system is the control over excess oxygen levels that is achieved. In the case of conventional incinerators, excess oxygen is required to burn the volatile organic carbons (VOCs) and unburned carbon. This excess oxygen is provided by injecting air into the chamber or stack where the oxygen (from the air) is used to complete the burn of VOCs and unburned carbon. Although air provides the necessary excess oxygen, it also permits nitrogen into the chamber. The excess nitrogen that is introduced (to provide the excess oxygen) results in increased production of NOx. Additionally, the excess air, overall, results in the generation of other green-house gases, and further acts to cool the chamber. This undesirable cooling then requires additional heat from the combustion system to overcome this cooling effect.

FIG. 13 illustrates, schematically, a typical industrial furnace 400. Waste (as indicated at 402) is introduced into a stack 404. A burner 406 is fed with air (as indicated at 408) and fuel (as indicated at 410) to produce a flame F to incinerate the waste 402. A carbon monoxide (CO) monitor 412 is located above the flame F to determine the level of CO in the exhaust gas. When the level of CO is too high, additional air is fed to the burner 406. Optionally, air can be fed into the stack from a location 414 apart from the burner 406 to provide the additional air.

There are a number of drawbacks to this method of operation. As discussed above, the two controlling factors in waste incineration are time and temperature. That is, higher temperatures and greater resonant times increase the incin-

eration of the waste. However, the addition of air (to reduce CO levels) increases the flow rate through the stack 404 thus reducing the resonant time. In addition, although the increased air flow reduces flame temperatures (which in turn reduces NOx production), it also introduces high levels of nitrogen, which tends to increase NOx production and offset the cooling (and reduced NOx production) effect. Moreover, because of the cooling effect of the air, the efficiency of the incineration process is reduced.

The present oxy-fuel combustion system, on the other hand, uses high purity oxygen which permits burning the unburned material without the production of NOx and other green-house gases and without cooling effects. The present oxy-fuel system thus affords several advantages over conventional or traditional incinerator systems. In that the primary duty of an incinerator is to burn VOCs and other contaminants before they reach the atmosphere, the present combustion system reduces the fuel used and thus results in reduced production of NOx and other green-house gases, and a reduced volume of fine gases generally.

In addition, the installation (e.g., capital) and operating costs of incinerators employing oxygen fueled combustion systems will be greatly reduced. The capital cost of the incinerator will be reduced because the volume of gases through the system is expected to be much lower. As provided above, because the throughput of gas is much less, the overall size of the incinerator can be considerably less than conventional systems while maintaining the same resonant time. Thus, the incinerator can be physically smaller to handle the same waste load, and the required support systems and ancillary equipment and systems can likewise be smaller.

In addition, oxy-fueled combustion systems are generally considerably more efficient than conventional incinerator systems and require a fractional amount of the required energy input. The system also lends itself quite well to incinerator applications in which the fuel is unburned carbon or VOCs. Likewise since there is no nitrogen present in the flame envelope the development of NOx is kept to a minimum, relegated to NOx formed from fuel-borne nitrogen only.

The industries described above are only a few exemplary industries that can benefit from the use of the present oxy fuel combustion system. Those skilled in the art will recognize the applicability of this system in the chemical and petrochemical industries, the power generation industry, plastics industries, the transportation industry and the like.

Oxy Fuel Combustion—The Benefits and Advantages

The benefits and advantages of oxy fuel combustion will be appreciated by those skilled in the art. Nevertheless, in an exemplary aluminum scrap processing facility, using an air-fired furnace outfitted for natural gas, it was found that the energy required to process or melt one pound of scrap aluminum (as determined by the cubic feet of natural gas used), was 3,620 BTUs (presented as 3,620 BTUs/lb). That is, about 3.45 standard cubic feet (SCF) of natural gas was needed to melt each pound of aluminum. The energy requirement of 3,620 BTU is based upon each SCF of natural gas having a heat content of 1,050 BTUs.

In contrast, using the present oxy fueled combustion system, it was found that only 1.03 SCF of natural gas (or 1083 BTUs) was needed to melt each pound of aluminum.

83
296

84
27

Thus, the present oxy fuel combustion system used 1083 BTU/3620 BTU or 29.9 percent of the fuel required for an air-fired furnace. This is a reduction of 1.0 less 0.299 or about 70 percent in the fuel consumption.

Similar though not quite as drastic reductions in fuel consumption have been observed with an oxy fueled combustion system that uses waste oil as a fuel. It was found that the heat content of the waste oil fuel need to melt each pound of aluminum was 1218 BTUs. Thus, the reduction observed with waste oil was 1218/3620 or 33.6 percent, resulting in a reduction in fuel consumed of about 66 percent. As such, even before considering the reduction in pollutants produced, the present oxy fuel combustion system exhibited reductions in fuel consumption of about 70 percent and 66 percent using natural gas and waste oil, respectively, over an air-fired, natural gas fired furnace.

Table 1, below illustrates a comparison of the pollutants produced using an air-fired (gas fueled, shown as "AIR-GAS") combustion system, an oxy fueled (gas, shown as "OXY-GAS") combustion system and an oxy fueled (waste oil, shown as "OXY-OIL") combustion system. The pollutants shown are carbon monoxide (CO), gaseous nitrogen compounds (NOx), particulate matter under 10 microns in size (PM10), total particulate matter (PT), sulfur containing gaseous compounds (SOx) and volatile organic carbon compounds (VOC).

The data is shown in two forms, tons per year produced (TPY) and pounds produced per million BTUs used (lb/MMBTU). The parentheticals following the OXY-GAS and OXY-OIL data represent pollutant reductions over those of the air-fired, gas fueled combustion system.

TABLE 1

FLUE GAS ANALYSIS FOR AIR-GAS, OXY-GAS AND OXY-OIL COMBUSTION SYSTEMS						
Pollutant	AIR-GAS		OXY-GAS		OXY-OIL	
	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU
CO	4.98	2.0E-2	1.51	6.0E-3 (68.9)	1.32	5.0E-3 (73.0)
NOx	24.38	1.3E-1	0	0 (100.0)	10.04	0.041 (98.6)
PM10	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.146	6.0E-4 (-410)
PT	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.146	6.0E-4 (-440)
SOx	0.146	6.0E-4	4.5E-2	1.9E-4 (89)	1.39	5.7E-3 (-948)
VOC	0.582	2.4E-3	4.0E-1	1.4E-3 (31)	3.33	1.4E-2 (-473)

The values for PM10, PT, SOx and VOC for the oxy fueled waste oil combustion system show increases (as negative reductions). This is due in part to no "post-burn" treatment processes used in the exemplary combustion system. It is anticipated that proper "post-burn" processes would include bag houses (for particulate matter) and scrubbers (for sulfur-containing gases) and would result in reductions of at least about 98.99 percent and 95 percent, respectively, in emissions quantities. The values attained in TABLE 1 were based upon the reduction in fuel consumption observed and were determined in accordance with accepted United States Environmental Protection Agency (USEPA) criteria, as determined from USEPA tables AP42 (available from the USEPA website).

It must be noted that the above values are based upon controlling the environment within the furnace in which the oxy fueled combustion system is used. That is, the values shown above that indicate reductions in pollutants for the OXY-GAS and OXY-OIL combustion systems require that the furnace in which the combustion systems are installed is

designed to limit to negligible air in-leakage (i.e., nitrogen in the combustion atmosphere).

Thus, as will be appreciated by those skilled in the art, the use of high purity oxygen (or highly oxygen-enriched air) and any carbon based fuel is highly adaptive to many existing industrial systems. It is anticipated that the uses for such a system in standard and conventional industrial applications will provide myriad advantages and benefits over known, presently used air fired and air over-fired systems. Although many present physical plants may require redesign and modification to incorporate the present oxy-fueled combustion systems to enhance performance and production, it is contemplated that the benefits gained by making these changes in design and structure, such as lowered operating costs, e.g., reduced fuel costs, lowered capital costs and reduced emissions, will far outweigh the costs to make these changes.

In the present disclosure, the words "a" or "an" are to be taken to include both the singular and the plural. Conversely, any reference to plural items shall, where appropriate, include the singular.

From the foregoing it will be observed that numerous modifications and variations can be effectuated without departing from the true spirit and scope of the novel concepts of the present invention. It is to be understood that no limitation with respect to the specific embodiments illustrated is intended or should be inferred. The disclosure is intended to cover by the appended claims all such modifications as fall within the scope of the claims.

- What is claimed is:
1. An oxygen fueled combustion system comprising:
 - a furnace having at least one burner, and configured to substantially prevent the introduction of air;
 - an oxygen supply for supplying oxygen having a purity of at least about 85 percent;
 - a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel;
 - means for feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in a stoichiometric proportion to one another;
 - means for limiting an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and
 - means for controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of about 4500° F., and to produce an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.
 2. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 1 wherein the carbon based fuel is a gas.

25

3. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 2 wherein the gas is natural gas.

4. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 1 including a cryogenic plant for producing the oxygen.

5. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 1 wherein the carbon based fuel is a solid fuel.

6. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 1 wherein the carbon based fuel is a liquid fuel.

7. An oxygen fueled combustion system comprising:

a furnace having a controlled environment, the furnace having substantially no in-leakage from an external environment, and configured to substantially prevent the introduction of air;

an oxidizing agent supply for supplying oxygen having a predetermined purity;

a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel;

means for feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in a stoichiometric proportion to one another;

means for limiting an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and

means for controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of about 4500° F., and to produce an exhaust gas stream from the furnace having substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent.

8. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 7 wherein the carbon based fuel is a gas.

9. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 8 wherein the gas is natural gas.

10. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 7 including an oxygen producing plant.

11. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 7 wherein the carbon based fuel is a solid fuel, and wherein any nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds are formed from the solid fuel.

12. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 7 wherein the carbon based fuel is a liquid fuel, and wherein any nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds are formed from the liquid fuel.

13. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 7 wherein the controlled environment has substantially no nitrogen.

14. A furnace comprising:

a combustion region;

a burner;

a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel into the combustion region through the burner;

26

an oxidizing agent supply for supplying oxygen at a predetermined purity into the furnace for combustion with the carbon based fuel;

means for controlling the combustion of the oxygen and the carbon based fuel to produce a flame temperature of more than about 3000° F. and to produce an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.,

wherein the furnace is configured to substantially prevent the introduction of air.

15. The furnace in accordance with claim 14 including an air supply for supplying air containing oxygen to the combustion region for combustion with the carbon based fuel and the oxygen at a predetermined purity.

16. The furnace in accordance with claim 14 including a fuel conduit for supplying the carbon based fuel to the burner, and wherein the oxygen at the predetermined purity is supplied to the furnace through the fuel conduit.

17. The furnace in accordance with claim 14 wherein the oxygen at the predetermined purity is supplied to the furnace separate and apart from the carbon based fuel.

18. The furnace in accordance with claim 14 wherein the oxygen purity is at least about 85 percent.

19. An oxygen fueled combustion system comprising:

a furnace having at least one burner, and configured to substantially prevent the introduction of air;

an oxygen supply for supplying oxygen at a predetermined purity greater than 21 percent;

a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel;

means for feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in controlled proportion to each other; and

means for controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of 3000° F.

20. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 19 including means for producing a flame temperature in excess of 4500° F.

21. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 19 wherein the means for controlling produces an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than 1100° F.

22. The oxygen fueled combustion system in accordance with claim 19 wherein an exhaust gas stream from the furnace exhibits a reduction of at least 20 percent of nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds relative to an oxidizing agent of ambient air.

* * * * *

PATENTE



MODELO DE UTILIDAD



DISEÑO INDUSTRIAL



SOLICITANTE. RAZON SOCIAL O APELLIDOS Y NOMBRES

SUPITER OXYGEN CORPORATION

DOMICILIO

Schiller Park, IL, EE.UU.

APODERADO

Fernando Perez Casallero

TITULO

Un incinerador de desechos de oxigeno-combustibles y metano

CLASIFICACION

F 23 B 5/00

EXPEDIENTE No.

03.094 940

FECHA DE SOLICITUD

ROLLO MICROFILM

CERTIFICADO No.

FECHA DE CONCESION

VIGENCIA DESDE

HASTA

PROCEBO

CAMBIO DE NOMBRE

TRANSFER A

INVENTOR (ES)

GROSS DIETRICH, D.

OTROS

**FORMULARIO UNICO DE CONVERSION, DIVISION Y FUSION DE
SOLICITUDES
2000-14**

1

SOLICITUD DE:

☐

CONVERSION

☒

DIVISION

☐

FUSION

☒

PATENTE DE INVENCION

☐

PATENTE DE MODELO DE UTILIDAD

☐

REGISTRO DE DISEÑO INDUSTRIAL

☐

ESQUEMAS DE TRAZADO PARA CIRCUITOS
INTEGRADOS

2

SOLICITANTE

Nombre: JUPITER OXYGEN CORPORATION

Dirección: 4825 N. Scott Street

Teléfono:

Fax:

E-Mail:

Domicilio: Schiller Park, IL 60176
Estados Unidos de América

IDENTIFICACION

C.C. ☐

NIT ☐

C.E. ☐

Otro ☐

Número _____

3

REPRESENTANTE
APODERADO

Nombre: FERNANDO PEREZ CABALLERO

Dirección: Calle 78 No. 8-56, Bogotá, D.C.

Teléfono: 310 25 14

Fax: 321 7116

E-Mail: fperez@cacle.net.co

IDENTIFICACION

C.C. ☒

NIT ☐

C.E. ☐

Otro ☐

Número 17.173.340

TP 18531

4

CONVERSION



DIVISION



FUSION

Expediente No.:

Expediente No.: 03,094,940

Expediente No.:

De:

No. de divisionales: 4

Expediente No.:

A:

5

Comprobante de Pago No.: 07-23,367 y 07.22,098

Fecha

Marzo 15 y 21,
2007

6

Anexos:

☒

Comprobante de pago de la tasa.

☒

Poderes, si fuere el caso.

☒

Certificado de existencia y representación legal de las partes, cuando sean personas jurídicas.

☒

Copia de la solicitud divisional.

7

NOMBRE: FERNANDO PEREZ CABALLERO

FIRMA:

C.C. 17.173.340

TP. 18.531

301
2

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 000176089-2

CERTIFICACION DE EXCEDENTE : 07 - 23,367
FECHA : MARZO 21 DE 2007

***** CONSIGNACION *****

POSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	Vir. PAGO
JOSE J. PEREZ	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62242037	21/03/2007	535,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-09	OTROS SERVICIOS DE PROPIEDAD I	
		99 OTROS SERVICIOS ADMINISTRATIVOS	482,000.00
		TOTAL :	\$ 482,000.00

SON: CUATROCIENTOS OCHENTA Y DOS MIL PESOS

RESPONSABLE : 

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

ESTA CERTIFICACION DE EXCEDENTE DE PAGO SOLO PODRA SER UTILIZADA
COMO PARTE DE LA CANCELACION DE UNA TARIFA VIGENTE Y NO PODRA SER
SUSTITUIDA POR NINGUN RECIBO.

302

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 07 - 22,098
FECHA : MARZO 15 DE 2007

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	Nº. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
FERNANDO PEREZ	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243291	08/03/2007	900,000.00
CONSUELO ZARANA	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243292	08/03/2007	800,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01	SOLICITUDES	
		82 INVOCACION DE UNA PRIORIDAD EN NU	135,000.00
		TOTAL :	\$ 135,000.00

SUN: CIENTO TREINTA Y CINCO MIL PESOS



RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

REF: Expediente No 03.094.940 Solicitud de Registro de Patente de Invención
"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE Y USOS PARA EL" a
nombre de la sociedad JUPITER OXYGEN CORPORATION

RESPUESTA AL CONCEPTO TECNICO.

EL suscrito vecino de Bogotá D. C., abogado titulado, identificado como aparece al pie de mi firma, actuando como apoderado en este asunto, me refiero al auto No 14893 proferido por ese Despacho notificado por Anotación de Estado de Patentes del 29 de diciembre de 2006, y para dar respuesta a dicho requerimiento, me permito solicitar y adjuntar los siguientes documentos:

UNIDAD de INVENCION.

Objeciones con relación a la Unidad de Invención y reivindicaciones.

Atendiendo los requerimientos del Examinador Técnico de la División de Nuevas Creaciones en cuanto a que los objetos aquí solicitados son varios y que por lo tanto se debe proceder a corregir las reivindicaciones, me permito poner a consideración de su Despacho tal como lo dispone el artículo 36 de la Decisión 486 lo siguiente:

Dividir esta solicitud en cuatro solicitudes así:

- SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTIÓN
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO
- UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y MÉTODO

1) Respecto del SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE me permito adjuntar lo siguiente:

- Nueva Descripción de la Invención en 53 folios
- Nuevas Reivindicaciones 1 a 22 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,436,337 B1

304
87

JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS

2) Para la nueva solicitud de: METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 07-22,096 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 07-22,099 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 20 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,596,220 B2

3) Para la nueva solicitud de: UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y METODO me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 23,367 del 21 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,098 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 15 inclusive, en 3 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,797,228 B2

4) Para la nueva solicitud de: METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 22,095 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,097 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 7 inclusive, en 3 folio

308
6

JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS

- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,818,176 B2

Finalmente, dando cumplimiento a lo exigido por el Examinador Técnico de Patentes, solicito a su Despacho que se realice la evaluación de los requisitos de patentabilidad y se proceda a **CONCEDER** el privilegio para las patentes de invención tituladas:

"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE",

"METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION",

**"UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y
METODO" y**

**"METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR
ALUMINIO"**

Atentamente,

Fernando Pérez Caballero
C.C. 17.173.340
T.P. 18.531

Bogotá, Marzo 29 de 2007



INDUSTRIAL PROPERTY - COPYRIGHTS
PHARMACEUTICAL LICENSES

AGENCY ESTABLISHED IN 1886
Cables: "HERALDO" or "PERMAR"

Air Mail Boxes { 888
3400
6182
Bogotá, Colombia, S.A.

IMPORTANT NOTE

The lodging of this GENERAL POWER with the Patent Office obviates the necessity of presenting special powers with each individual trade mark application.

306
7

FOR PATENTS AND TRADE MARKS IN
COLOMBIA

Poder General

General Power of Attorney

1 Applicant's name

(1) _____

2 Applicant's address

domiciliado en (2) _____

3 Leave blank

nombró al Dr. FERNANDO PEREZ CABA-
LLERO y/o MARIA DEL CONSUELO
ZARAMA URDANETA

domiciliados en Bogotá, República de Colom-
bia, con dirección en la _____

_____ de la misma ciudad, como sus repre-
sentantes con poder especial amplio y sufi-
ciente, para recibir de las oficinas y autorida-
des Colombianas, administrativas, judiciales o
de policía, en primera o segunda instancia, la
obtención de Patentes de Invención, Registro
de Marcas, de Modelos y de Dibujos Industri-
ales, de Nombres Comerciales y Enseñas, lo mis-
mo que traslases, extensiones, renovaciones,
cambios de nombre, registro de licencias de
explotación y registro de licencias de uso refe-
rentes a tales actuaciones, a cuyo efecto les
faculta para dar ante dichas autoridades todos
los pasos necesarios al objeto indicado, elevar
solicitudes, formular descripciones, ampliaciones,
protestas, declaraciones, apelaciones y recla-
mos, solicitar la aplicación de medidas cautele-
ras, aceptar en nuestro nombre y representa-
ción la Cesión de derechos de Invención y de
patente de Invención que se nos haga por cual-
quier persona, abonar todos los impuestos, cuo-
tas y pagos determinados por la ley, recibir to-
dos los documentos y valores dando el descar-
go respectivo, llenar cualesquiera otros requisi-
tos, desistír y tomar en fin todas las medidas
que creyeren conducentes al resguardo de
nuestros intereses y en caso de presentarse
oposiciones para que intervengan como deman-
dantes o como demandados, con todas las de-
más facultades legales necesarias. Este poder
comprende además las facultades de recibir, de-
sistír, transigir, comprometer, sustituir, revocar
sustituciones, recibir notificaciones y nombrar
apoderados judiciales o extrajudiciales.

Dado y firmado en (4) _____

(1) _____
Jupiter Oxygen Corporation

domiciled in (2) _____
4825 N. Scott Street
Schiller Park, IL 60176, USA

hereby appoint Dr. FERNANDO PEREZ CABA-
LLERO and/or MARIA DEL CONSUELO
ZARAMA URDANETA

domiciled in Bogotá, Republic of Colombia, _____

_____ of the same City,
as our representatives with special, ample and
sufficient power to obtain from the offices and
Colombian authorities, administrative, judicial
and police, in first or in second instance, Privi-
leged Patents of Invention, Registration of Trade
Marks, of Models and Industrial Drawings, of
Commercial Names and emblems, as well as
assignments, extensions, renewals, changes of
name, registration of licences of exploitation and
of licences of use referring to said actions, who
are empowered to take before said authorities
all of the necessary steps for the purposes in-
dicated, to file application, to formulate descrip-
tions, corrections, protests, declarations, appeals
and claims, apply for precautionary measures,
to accept on our behalf and representation the
assignment of rights of invention and titles of
invention that may be done to us by any person,
to pay all taxes, quotas and payments prescribed
by law, to receive all the documents and pro-
ceeds giving the respective acquittance or
receipt; to fulfill any other requisites to desist
and take in fact any other measures that may
be deemed conducive to the safeguard of our
interests, and in case oppositions are presented
to intervene as complainant and defendant,
with all necessary legal faculties. This power of
attorney includes the faculties to receive, desist,
compromise, transact substitute it in all or in
part, to revoke substitutions, to receive notifi-
cations and to appoint extra-judicial or judicial
attorneys.

Given and signed in (4) _____

4 Date

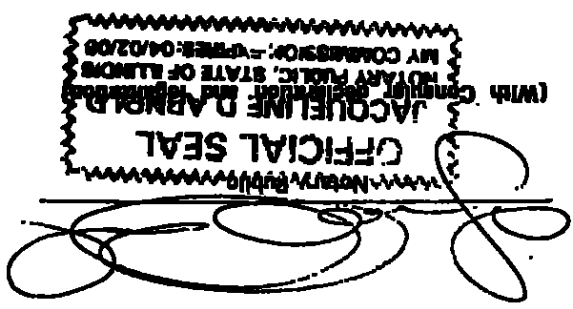
5 Applicant's signature

The applicant's signature must be attested by a Notary Public through the NOTARIAL CERTIFICATE: in the «(Individual)», when the signer is a natural person; and in the «(Corporations)», when is a legal one. The Notary's signature must then be legalized by a Colombian Consular Officer. Who must also issue a declaration.

La firma del solicitante debe ser atestada por un Notario Público por medio de la DECLARACION NOTARIAL: en la «(Individual)», cuando el firmante es una persona natural; y en la de «(Sociedades)», cuando es una persona jurídica. La firma del Notario deberá ser legalizada por el Consulado Colombiano.

(5) _____
Corporate Seal to be affixed Jupiter Oxygen Corporation
Mark Schoenfield - Vice President, General Counsel

La declaración Notarial a la vuelta
Notarial acknowledgment on other side



Illinois
Granted and signed in Cook County,
documents to which he, the Notary attests.
All the foregoing facts are known to the No-
tary due to his having examined the respective

and actually exists and is organized in accor-
dance with the laws of _____
Schiller Park, Illinois 60176 USA
4825 N. Scott Street
and that said company is domiciled in _____
and that he is empowered to grant this power;
Jupiter Oxygen Corporation
of _____
Vice President, General Counsel
the post of _____
is authentic; that the signer at present fills
the preceding signature reading _____
Mark Schoentfeld
The undersigned Notary Public certifies; that

(Corporations)

Notary Public.

for the uses and purposes therein expressed.
I have read the foregoing document, and he (they) duly acknow-
ledged to me that he (they) executed the same
to me known, and known to me to be the
person(s) described in and who executed the
foregoing document, and he (they) duly acknow-
ledged to me that he (they) executed the same
On this _____ day of _____ 18____
personally appeared before me, a Notary Public
(Individual)
NOTARIAL CERTIFICATE

[Con declaración y legalización Consular]

El Notario Público.

Dado y firmado en _____
de todo ello de fé.
ber examinado los documentos respectivos y
Todos los hechos anteriores le constan por ha-

y actualmente existe y está organizada de
acuerdo a las leyes de _____
que dicha compañía está domiciliada en _____
que tiene facultad para otorgar este poder; y
de _____
tualmente el cargo de _____
es auténtica; que el signatario desempeña ac-

que antecede y dice _____
El infrascrito Notario Público; que la firma
(Bociedades)

El Notario Público.

y propósitos que en él se expresan.
ante mí que otorga(n) el mismo para los fines
te(a) del documento que precede, declarando
se (son) la(s) persona(s) descrita(s) y firmen-
a quien(les) doy fé de conocer y me consta que

Público
compareci(ó) personalmente ante mí, Notario
A los _____ días del mes _____ de 18____
(Individual)
DECLARACION NOTARIAL

[TRADUCCIÓN OFICIAL DEL INGLÉS]

307
8

[Sello:]

SELLO OFICIAL
JACQUELINE D. ARNOLD
NOTARIA PÚBLICA, ESTADO DE ILLINOIS
MI COMISIÓN EXPIRA: 04/02/06

ESTADO DE ILLINOIS
Secretaría de Estado
SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLA

(Convención de La Haya del 5 de Octubre de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por: JACQUELINE D. ARNOLD
3. En su calidad de: NOTARIA PUBLICA, CONDADO DE COOK
4. Y lleva el sello de: ESTADO DE ILLINOIS

Certificado

5. En: Springfield, Illinois
6. El día: 3 DICIEMBRE 2003
7. Por: El Secretario de Estado de Illinois
8. Bajo el No.: 80306
9. Sello: SELLO DEL ESTADO DE ILLINOIS
10. Firma: JESSE WHITE, SECRETARIO DE ESTADO DE ILLINOIS

M. Méndez S.
JOSE MIGUEL MENDEZ

Traductor Oficial

Res. 911 de Mayo 1988 MINJUNTIA



SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by JACQUELINE D. ARNOLD

3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC, COOK COUNTY

4. bears the seal/stamp of STATE OF ILLINOIS

Certified

5. Springfield, Illinois

6. DECEMBER 3, 2003

7. by the Secretary of State, State of Illinois

8. No. 80306

9. Seal/Stamp:

10. Signature:

Jesse White

JESSE WHITE
SECRETARY OF STATE
STATE OF ILLINOIS



309/10

[TRADUCCIÓN OFICIAL DEL INGLÉS]

DOCUMENTO DE CESION

El suscrito, Dieter M. Gross, domiciliado en 769 Michigan Avenue, Wilmette, Illinois 60091, E.U.A., inventor de la Solicitud Internacional PCT/US02/08701 Fase Nacional en Colombia No. 03.094.940, declara mediante este documento que se ha efectuado la cesión de todos los derechos y títulos de dicha patente sin excepción alguna a Jupiter Oxygen Corporation, domiciliada en 4825 N. Scott Street, Schiller Park, Illinois 60176, E.U.A., pudiendo por consiguiente la Cesionaria ser considerada ahora como la única propietaria de dicha patente para usarla y disponer de ella en el mejor de sus intereses, sin ninguna otra reivindicación en el asunto en nombre del Cesionario en ningún caso ni en ningún momento.

La cesionaria acepta mediante este documento la cesión.

CEDENTE

CESIONARIA

Jupiter Oxygen Corporation

Dieter M. Gross (firma)

Mark Schoenfield (firma)

Vicepresidente, Apoderado General

ESTADO DE ILLINOIS

CONDADO DE COOK

Certifico que Dietrich M. Gross y Mark Schoenfield comparecieron personalmente ante mí y reconocieron que ellos firmaron, sellaron y entregaron debidamente el adjunto documento de cesión como un acto libre y voluntario, hoy 26 Noviembre 2003.

Jacqueline D. Arnold, Notaria Pública - Condado de Cook
(Firma y Sello Oficial)

310
H

ESTADO DE ILLINOIS
Secretaría de Estado

SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLA

(Convención de La Haya del 5 de Octubre de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por: JACQUELINE D. ARNOLD
3. En su calidad de: NOTARIA PUBLICA, CONDADO DE COOK
4. Y lleva el sello de: ESTADO DE ILLINOIS

Certificado

5. En: Springfield, Illinois
6. El día: 3 DICIEMBRE 2003
7. Por: El Secretario de Estado de Illinois
8. Bajo el No.: 80305
9. Sello: SELLO DEL ESTADO DE ILLINOIS
10. Firma: JESSE WHITE, SECRETARIO DE ESTADO DE ILLINOIS

M. Méndez S.
JOSE MIGUEL MENDEZ
Traductor Oficial
Res. 911 de Mayo 1988 MINJUSTICIA



311
72

SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by JACQUELINE D. ARNOLD

3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC, COOK COUNTY

4. bears the seal/stamp of STATE OF ILLINOIS

Certified

5. Springfield, Illinois

6. DECEMBER 3, 2003

7. by the Secretary of State, State of Illinois

8. No. 80305

9. Seal/Stamp:

10. Signature:

Jesse White

JESSE WHITE
SECRETARY OF STATE
STATE OF ILLINOIS



13
312

ASSIGNMENT DOCUMENT

The undersigned, Dietrich M. Gross, domiciled in 769 Michigan Avenue, Wilmette, Illinois 60091, U.S.A. inventor of the International Application No. PCT/US02/08701 National Phase in Colombia No. 03.094.940 declare by this document that assignment has been made of all rights and titles with no exception, to Jupiter Oxygen Corporation, domiciled in 4825 N. Scott Street, Schiller Park, Illinois 60176, U.S.A., of said patent the Assignee being able to be considered, therefore, as the only owner of said patent, to use the same and to dispose of same to his best interests, without any further claim in the matter on behalf of the Assignor in any case or at any time.

The Assignee by means of this document accepts the assignment.

ASSIGNOR


Dietrich M. Gross

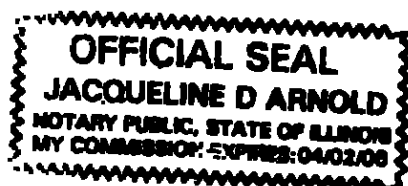
ASSIGNEE

Jupiter Oxygen Corporation


Mark Schoenfield
Its: Vice President, General Counsel

STATE OF ILLINOIS)
)
COUNTY OF COOK)

I hereby certify that Dietrich M. Gross and Mark Schoenfield, before me personally appeared and acknowledged that the foregoing assignment was duly signed, sealed and delivered by them as their free and voluntary act on this 26th day of November, 2003.



(SEAL)


Jacqueline D. Arnold
Notary Public - Cook County

METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE
PARA RECUPERAR ALUMINIO

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[001] La presente invención se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible. Más particularmente se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible en el que se reduce la producción de gases invernadero y en el que se reduce el consumo de combustibles fósiles.

[002] Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno son conocidos, sin embargo su uso es bastante limitado. Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno generalmente se usan únicamente en aquellas aplicaciones en las que se requieren temperaturas de llama sumamente altas. Por ejemplo estos sistemas pueden usarse en la industria manufacturera de vidrio para lograr las temperaturas necesarias para fundir el sílice a una temperatura de fusión. Por otra parte, comúnmente se acepta que las limitaciones estructurales y materiales dictan las temperaturas máximas a las cuales pueden ser sometidos los sistemas industriales. Para tal fin, sistemas de combustión alimentados por aire o encendidos por aire se usan en calderas, hornos y similares en casi todas las aplicaciones industriales incluyendo manufactura, generación de energía eléctrica y otras aplicaciones procedimentales.

[003] En particular, los sistemas de combustión alimentados por aire o los sistemas de calentamiento eléctrico se usan en todas las industrias de fabricación de acero y aluminio, así como también en la industria generadora de energía, y en otras industrias basadas en combustibles basados en carbono. En los sistemas alimentados por aire, el aire que está constituido por aproximadamente 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno, se alimenta al horno conjuntamente con combustible. La mezcla aire

combustible se inflama creando una llama. La llama transfiere energía en forma de calor de la mezcla aire combustible al horno.

[004] En las industrias del acero y del aluminio, los hornos alimentados por aire y los hornos eléctrico han sido usados como la fuente primaria de calor para crear metales fundidos. Con respecto a los hornos alimentados por aire, convencionalmente se acepta que los requerimientos de energía, equilibrados contra las limitaciones térmicas del equipo procedimental, exigen o sustentan sólidamente el uso de estos tipos de sistemas de combustión. Respecto al uso de hornos eléctricos en la industria del aluminio, la sabiduría convencional también respalda este tipo de fuente de energía para lograr las temperaturas necesarias para el procesamiento del aluminio.

[005] Un inconveniente en el uso de los sistemas de combustión alimentados por aire es que estos sistemas producen compuestos gaseosos de nitrógeno (NOx) y otros gases invernadero tales como dióxido de carbono, dióxido de azufre y similares como resultado inherente del proceso de combustión. Los NOx y otros gases invernadero son un contribuyente mayor a la contaminación ambiental, la cual incluye, sin limitarse a ella, la lluvia ácida. Como tal, es deseable la reducción de la emisión de NOx y de otros gases invernadero y la emisión ha sido considerablemente limitada como resultado de las restricciones regulatorias. Para tal fin, varios dispositivos tienen que ser instalados en estos sistemas de combustión para limitar y/o reducir los niveles de NOx y de otros gases invernadero producidos.

[006] Otro inconveniente de los hornos alimentados por aire es que mucha de la energía liberada del proceso de combustión es absorbida o usada para calentar el nitrógeno gaseoso presente en el aire que es alimentado al horno. Esta energía se desperdicia esencialmente ya que típicamente el gas de nitró-

geno calentado simplemente es despedido de la fuente de calor, por ejemplo del horno. De este modo parte de los costos de la energía son dirigidos al medio ambiente en forma de un cúmulo de gases de desecho y similares. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán fácilmente otros inconvenientes de los sistemas de combustión alimentados por aire que se conocen.

[007] Los hornos eléctricos también tienen sus inconvenientes. Por ejemplo, algo inherente a estos sistemas es también la necesidad de una fuente de electricidad que esté disponible permanentemente, esencialmente sin interrupción. Debido al hecho de que para el funcionamiento de estos hornos eléctricos se requieren grandes cantidades de energía eléctrica, típicamente es necesario tener ubicados estos hornos eléctricos en la cercanía de las plantas generadoras de energía y/o tener grandes servicios de transmisión eléctrica. Además los hornos eléctricos requieren una considerable cantidad de mantenimiento para garantizar que los hornos funcionen con eficiencia óptima o casi con eficiencia óptima. Además un hecho inherente al uso de hornos eléctricos es la ineficiencia en convertir un combustible en energía eléctrica (la mayoría de las estaciones de energía alimentadas por combustibles fósiles que usan turbinas de vapor funcionan a niveles de eficiencia menores de aproximadamente 40 por ciento y generalmente menores de aproximadamente 30 por ciento). Además estas grandes estaciones alimentadas por combustibles fósiles producen cantidades sumamente grandes de NOx y de otros gases invernadero.

[008] Por ejemplo en la industria procesadora de aluminio y más específicamente en la industria de recuperación de retal de aluminio, la sabiduría convencional dice que las temperaturas de llama en los hornos deben ser mantenidas entre aproximadamente 1371°C y 1649°C. Se cree que en este ámbito de temperatura se logra un equilibrio entre la energía necesaria para proporcionar suficiente calor para fundir el retal de alu-

minio y mantener temperaturas apropiadas del metal en el baño fundido a aproximadamente 788°C. Los hornos conocidos utilizan un diseño en el que las temperaturas de llama típicamente no superan 1649°C para garantizar el mantenimiento de la integridad estructural de estos hornos. Es decir, se cree que sobrepasar estos límites de temperatura puede debilitar la estructura de soporte del horno y, así, resultar en accidentes catastróficos. Además, las temperaturas de escape para hornos convencionales son por lo general aproximadamente 871°C. Así, la diferencia de temperatura entre la llama y el escape es tan solo aproximadamente 760°C. Esto resulta en un ineficiente uso de la energía para el proceso de combustión.

[009] Se cree también que las pérdidas de energía y el potencial daño al equipo de hornos en los que las temperaturas de llama sobrepasan aproximadamente 1649°C superan con creces cualquier eficiencia de funcionamiento que se pueda alcanzar mediante más altas temperaturas de llama. Así, de nuevo la sabiduría convención respalda totalmente el uso de hornos alimentados por aire en los que las temperaturas de llama están en un límite superior de aproximadamente 1649 °C (por estequiometría de llama) que garantiza la integridad del horno y reduce las pérdidas de energía.

[010] Por consiguiente, existe una necesidad de un sistema de combustión que proporcione las ventajas de reducir la contaminación ambiental (atribuible al NOx y a otros gases invernadero) y al mismo tiempo proporcione un uso eficiente de la energía. Es deseable que tal sistema de combustión se pueda usar en una amplia variedad de aplicaciones industriales, desde la industria generadora de energía hasta las industrias procesadoras químicas, la producción y el procesamiento de metales, etc. Tal sistema de combustión se puede usar en aplicaciones de procesamiento de metales, por ejemplo aluminio, en los que el sistema de combustión proporciona mayor eficiencia energética y menor contaminación. También existe una necesidad

#8
317

(específicamente en la industria procesadora de retal de aluminio) de equipos de procesamiento (específicamente hornos) que estén diseñados y configurados para resistir elevadas temperaturas de llama asociadas con dicho eficiente sistema de combustión y para aumentar la eficiencia energética y reducir la producción de contaminación.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

[011] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible incluye un horno que tiene un medio ambiente controlado e incluye al menos un quemador. El sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una pureza predeterminada y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono. El presente sistema de combustión aumenta la eficiencia del combustible consumido (es decir requiere menos combustible), produce cero NOx (a no ser el contenido por las fuentes combustibles) y significativamente menos otros gases invernadero.

[012] El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[013] El sistema de combustión preferiblemente incluye un sistema de control para controlar el abastecimiento del combustible basado en carbono y para controlar el abastecimiento de oxígeno al horno. En el sistema de control, el abastecimiento de combustible sigue al abastecimiento de oxígeno al horno. El abastecimiento de oxígeno y de combustible es controlado por la temperatura predeterminada del aluminio fundi-

do. En este arreglo, un sensor detecta la temperatura del aluminio fundido.

[014] El combustible basado en carbono puede ser cualquier tipo de combustible. En una forma de realización el combustible es un gas tal como gas natural, metano, etc. Alternativamente el combustible es un combustible sólido tal como carbón o polvo de carbón. Y alternativamente el combustible es un combustible líquido tal como fuel-oil, incluyendo petróleos de desecho.

[015] En un uso a modo de ejemplo, el sistema de combustión se usa en un sistema de recuperación de retal de aluminio para recuperar aluminio del retal. Tal sistema incluye un horno para contener el aluminio fundido a una temperatura predeterminada, el cual tiene al menos un quemador. El sistema de recuperación incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno al horno mediante el sistema de combustión. Para lograr la máxima eficiencia, el abastecimiento de oxígeno tiene una pureza de oxígeno de al menos aproximadamente 85 por ciento.

[016] Un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece un combustible basado en carbono. El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[017] En tal sistema de recuperación, la combustión del oxígeno y del combustible crea energía que se usa para recuperar aluminio del retal a una tasa de aproximadamente 2519 Joules por kg de aluminio recuperado. El combustible puede ser un gas

tal como gas natural, o puede ser un combustible sólido o un combustible líquido.

[018] En el sistema de recuperación el calor del horno puede ser recuperado en un sistema de recuperación de calor de desecho. El calor recuperado puede ser convertido en energía eléctrica.

[019] En un sistema muy preferido el sistema de combustión incluye un sistema para proporcionar oxígeno. Un sistema tal separa el aire en oxígeno y nitrógeno, tal como un sistema de separación criogénico. Otros sistemas incluyen separación de membranas y similares. El oxígeno también puede ser abastecido mediante la separación de agua en oxígeno e hidrógeno. En tales sistemas el oxígeno se puede almacenar para ser usado a medida que se necesita. Se conocen otros sistemas para generación/separación de oxígeno.

[020] El sistema de combustión de oxígeno-combustible se puede usar generalmente con cualquier horno que tenga un medio ambiente controlado. Esto es con cualquier horno que substancialmente no tenga fuga alguna desde el medio ambiente exterior al interior. Tal sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una determinada pureza y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono.

[021] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible basado en carbono son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. En tal horno, una corriente de gas de escape del horno tiene substancialmente cero compuestos gaseosos producidos por la combustión que contengan nitrógeno. Esto es, como no se alimenta nitrógeno con el combustible, a menos que el combustible contenga nitrógeno, el gas de escape substancialmente no

contiene productos de combustión que contengan nitrógeno (es decir NOx) y niveles significativamente reducidos de otros gases invernadero.

[022] Este sistema de combustión puede usar cualquier combustible basado en carbono, incluyendo gas como gas natural o metano, cualquier combustible sólido como carbón o polvo de carbón, o cualquier combustible líquido como petróleo, incluyendo petróleos de desecho refinados. En tal sistema de combustión los compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión se forman a partir del nitrógeno contenido en el combustible.

[023] Un método para recuperar aluminio del retal incluye alimentar retal de aluminio en un horno de fusión y someter a combustión en el horno oxígeno y combustible basado en carbono. En la combustión de oxígeno y combustible, el oxígeno y el combustible son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[024] El aluminio se funde en el horno, el aluminio cargado de contaminantes se retira del horno y el aluminio fundido substancialmente puro se descarga del horno. El método puede incluir el paso de recuperar el aluminio del aluminio cargado de contaminantes, es decir escoria, y cargar en el horno el aluminio recuperado.

[025] El método puede incluir recuperar el calor de desecho del horno. El calor de desecho recuperado puede ser convertido en electricidad.

[026] Un horno para recuperar aluminio del retal de aluminio incluye una región de baño para el aluminio fundido contenido a una temperatura predeterminada y al menos un quemador. Un abastecimiento de oxígeno abastece oxígeno de una pureza mínima de aproximadamente 85 por ciento, y un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece combustible tal como gas natural, carbón, petróleo, etc.

[027] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible se alimentan al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[028] En una forma de realización el horno está formado de placa de acero, vigas de acero y materiales refractarios. La paredes del horno están configuradas con una viga de acero y armazón de placa, al menos una capa de material aislante prensable, al menos una capa de ladrillo refractario y al menos una capa de material refractario moldeable. El piso del horno está configurado con una viga de acero y armazón de placa y al menos dos capas de material refractario, siendo al menos una de las capas de material refractario moldeable.

[029] También se revela un método que no usa sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria, método que incluye los pasos de introducir al horno el aluminio cargado de escoria. El horno tienen un sistema de combustión de combustible de oxígeno que produce una temperatura de llama de aproximadamente 2760°C y no tiene substancialmente exceso de oxígeno. El aluminio cargado de escoria se funde dentro del horno.

[030] Una porción superior del aluminio cargado de escoria fundido se quita ("se desnata") para producir un producto

fuertemente cargado de escoria. El producto fuertemente cargado de escoria se prensa en una prensa mecánica para separar el aluminio del producto fuertemente cargado de escoria y producir un producto concentrado fuertemente cargado de escoria. El método puede incluir el paso de retornar al horno el producto concentrado fuertemente cargado de escoria. La introducción al horno del aluminio cargado de escoria se efectúa bajo incidencia directa cercana de la llama con el fin de liberar los óxidos de la escoria.

[031] Esta y otras ventajas de la presente invención se harán evidentes en la siguiente descripción detallada conjuntamente con las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[032] Los beneficios y las ventajas de la presente invención se harán más fácilmente evidentes para las personas de conocimiento corriente de la técnica relevante luego de examinar la siguiente descripción detallada y las figuras adjuntas.

[033] La FIG. 1 es una esquema general de flujo de un ejemplo de un proceso de recuperación de retal de aluminio que tiene un horno de fusión con un sistema de combustión de oxígeno-combustible, en el cual se han reducido la producción de gases invernadero y el consumo de combustible, sistema el cual incorpora los principios de la presente invención;

[034] La FIG. 2 es un esquema general de flujo de una operación de procesamiento de escoria y continuación de la FIG. 1 que tiene un horno de recuperación que tiene un sistema de combustión de oxígeno-combustible incorporando los principios de la presente invención;

[035] La FIG. 3 es un ejemplo de un tren de abastecimiento de gas natural y un tren de abastecimiento de oxígeno para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

[036] La FIG. 4 es un esquema general de planta que muestra el abastecimiento de oxígeno de una planta criogénica, y el flujo a los hornos, y además ilustra un ejemplo de una planta de recuperación de calor de desecho;

[037] La FIG. 5 es una ilustración esquemática de un horno de fundición de aluminio para usar con un sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con los principios de la presente invención;

[038] La FIG. 6 es una vista lateral del horno de la FIG. 5;

[039] La FIG. 7 es una vista frontal del horno de la FIG. 6;

[040] Las FIGS. 8 y 9 son ilustraciones parciales de sección transversal de una pared lateral y del piso del horno respectivamente;

[041] La FIG. 10 ilustra un ensamblaje quemador para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

[042] La FIG. 11 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema de control para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible de la presente invención;

[043] La FIG. 12 es una vista esquemática de un ejemplo de una pared de una caldera de energía u horno que ilustra un quemador y un arreglo alimentado por aire y muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención;

[044] LA FIG. 13 es una ilustración esquemática de un incinerador de desechos que muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

[045] Si bien la presente invención puede ser realizada en diferentes formas, en las figuras se muestra y en adelante se

describirá una forma de realización preferida, entendiéndose que la presente revelación ha de ser considerada como una ejemplificación de la invención y no tiene el propósito de limitar la invención a la forma de realización ilustrada. Se ha de entender además que el título de esta sección, "Descripción Detallada de la Invención", se refiere al requisito de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos y no implica ni se debe inferir una limitación al asunto revelado aquí.

[046] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible usa esencialmente oxígeno puro en combinación con una fuente de combustible para producir calor mediante producción de llama (es decir combustión) de una manera eficiente no-adversa en términos medio-ambientales. Se puede usar oxígeno, que es abastecido por un agente oxidante, en una concentración de aproximadamente 85 por ciento a 99+ por ciento, sin embargo es preferible tener una concentración de oxígeno (es decir una pureza de abastecimiento de oxígeno) tal alta como sea posible. En tal sistema, oxígeno de alta pureza se alimenta, conjuntamente con la fuente de combustible en proporciones estequiométricas, a un quemador en un horno. El oxígeno y el combustible se ponen en combustión para liberar la energía almacenada en el combustible. Para los propósitos de la presente revelación, la referencia al horno se ha de interpretar en términos amplios para que incluya cualquier generador de calor industrial o comercial que haga combustir combustibles fósiles (basados en carbono). En un sistema preferido la concentración o la pureza del oxígeno es tal alta como sea posible con el fin de reducir la producción de gases invernadero.

[047] Se ha contemplado que se pueda usar esencialmente cualquier fuente de combustible. Por ejemplo, en una aplicación presente, como se describirá abajo en más detalle, el oxígeno es alimentado conjuntamente con gas natural para la combustión en el horno. Otras fuentes de combustible contempladas incluyen petróleos refinados y de desecho, madera, car-

bón, polvo de carbón, desechos de basura, etc. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán las miriadas de fuentes de combustible que se pueden usar con el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible.

[048] El presente sistema se aparta de los procesos convencionales en dos áreas principales. Primero, los procesos de combustión convencionales usan para la combustión aire (como agente oxidante para abastecer oxígeno) y no oxígeno esencialmente puro. En la combustión se usa el componente de oxígeno en el aire (aproximadamente 21 por ciento), mientras que los restantes componentes (esencialmente nitrógeno) son calentados en el horno y expulsados de él. Segundo, el presente proceso usa oxígeno en una proporción estequiométrica respecto al combustible. Es decir únicamente se alimenta suficiente oxígeno en proporción al combustible para garantizar la completa combustión del combustible. Así, no se alimenta "exceso" de oxígeno al sistema de combustión.

[049] Usando el presente sistema de combustión se logran muchas ventajas y beneficios. Tal como se describirá abajo, se ha observado que el consumo de combustible para producir una cantidad equivalente de energía o de calor se reduce en ciertas aplicaciones hasta en un 70 por ciento. Significativamente esto puede proporcionar una tremenda reducción en la cantidad de contaminación resultante. También, en ciertas aplicaciones, la emisión de NOx puede reducirse esencialmente a cero y la emisión de otros gases invernadero puede ser reducida hasta en un 70 por ciento respecto a sistemas de combustión convencionales alimentados por aire.

Un Ejemplo de Proceso de Recuperación de Aluminio del Retal

[050] En un uso específico, el sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa en una planta 10 de recuperación de aluminio del retal. En las FIGS. 1 y 2 se ilustra un proceso de flujo de un ejemplo de planta. Retal de aluminio, general-

mente señalado como 12, se alimenta al horno de fusión 14 y se licúa. La planta 10 puede incluir múltiples hornos que operan en paralelo 14, uno de los cuales se ilustra. El aluminio licuado o fundido se retira del horno de fusión 14 y se alimenta a un horno de almacenamiento temporal 16. El horno de almacenamiento temporal 16 también es un horno de oxígeno-combustible. El aluminio fundido se retira del horno de fusión 14 a medida que va siendo necesario para mantener cierto nivel predeterminado en el horno de almacenamiento temporal 16. Esto puede resultar en un continuo retiro del horno de fusión 14 o retiro en "lotes" según se requiera.

[051] Al horno de almacenamiento temporal 16 se alimentan cloro y nitrógeno (como gas) según se indica en 18 y 20 respectivamente con el fin de facilitar el retiro de las impurezas del aluminio fundido. El cloro y el nitrógeno funcionan como agente gaseoso de flujo para retirar las impurezas del aluminio. Esto también se puede efectuar en los hornos de fusión 14 para aumentar la limpieza del retal aceitoso y sucio. Otros agentes de flujo contemplados incluyen hexafluoruro de argón gaseoso. El horno de almacenamiento temporal 16 se calienta activamente y funciona a una temperatura de metal fundido de aproximadamente 704°C. La temperatura del aire en el horno de almacenamiento temporal 16 es levemente más alta.

[052] Luego se filtra el aluminio fundido. Ahora se usa un filtro particulado 22 tipo bolsa. No obstante se conocen otros tipos de filtros y se pueden usar. El aluminio fundido filtrado se alimenta luego a través de un desgasificador 24.

[053] En el desgasificador 24 se alimenta un agente de flujo, tal como un gas inerte (de nuevo se usa nitrógeno, según se indica en 26) al aluminio fundido. Se agita el aluminio fundido, por ejemplo mediante un agitador mecánico 28 y el agente de flujo 26 burbujea hacia arriba a través del aluminio

fundido para eliminar las impurezas (por ejemplo óxidos) del aluminio.

[054] Después el aluminio fundido se alimenta en un moldeador 30 en línea. En el moldeador 30 el aluminio es moldeado para formar una placa continua. El espesor del molde puede ser de 0,0254 cm hasta 1,905 cm o más. Luego el aluminio puede ser enrollado como se indica en 32 para ser usado o para ser procesado adicionalmente. En un presente método el aluminio pasa desde el moldeador 30 a través de un par de rectificadoras 34 calientes en donde la placa es laminada para que tenga un espesor final o calibre de aproximadamente 0,21 cm (82 mils) y luego se enrolla para formar el rollo 32. Las personas con experiencia en este campo de la técnica entenderán y apreciarán los varios procesos de formación y terminado final que se le pueden efectuar al metal. Todos esos procesos de formación y terminado están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[055] Volviendo ahora al horno de fusión 14, éste es un horno de oxígeno-combustible. El es alimentado con un combustible basado en carbono, por ejemplo gas natural, en proporción estequiométrica con oxígeno. Esto se diferencia de los hornos conocidos que usan mezclas de aire y combustible. Las mezclas de combustible y aire alimentan tanto nitrógeno como oxígeno al horno para respaldar el proceso de combustión. Esto resulta en la producción de gases de desecho de NOx indeseables. Además, el nitrógeno también absorbe energía del aluminio fundido, reduciendo entonces la eficiencia total del proceso. O sea que debido a que el porcentaje de nitrógeno en el aire es tan grande, una gran cantidad de energía se va calentado el nitrógeno y no el aluminio.

[056] Las proporciones oxígeno:gas natural en los presentes hornos de fusión y de almacenamiento 14 y 16 son aproximadamente 2,36:1. Esta proporción variará dependiendo de la pureza

del abastecimiento de oxígeno y de la naturaleza del combustible. Por ejemplo, bajo condiciones perfectas de oxígeno 100 por ciento puro se calcula teóricamente que la proporción sea 2,056:1. Sin embargo, el abastecimiento de oxígeno puede tener hasta aproximadamente 15 por ciento de constituyentes que son no-oxígeno y el gas natural no es siempre 100 por ciento puro. Por lo tanto, las personas con experiencia en esta campo de la técnica apreciarán y comprenderán que estas proporciones puede variar levemente, pero la base para calcular las proporciones, o sea las proporciones estequiométricas de combustible y oxígeno, sigue siendo verdadera.

[057] Esta proporción de oxígeno respecto a combustible proporciona varias ventajas. Primero, esta estequiometría proporciona completa combustión del combustible, resultando así en menos monóxido de carbono, NOx y otras emisiones nocivas de gases de desecho (generalmente otros gases invernadero). Además, las proporciones de oxígeno controladas también reducen la cantidad de óxidos presentes en el aluminio fundido. Esto, a su vez, proporciona una mejor calidad del producto de aluminio final y menos procesamiento para eliminar estos contaminantes óxidos indeseables.

[058] Es importante anotar el hecho de que controlar con exactitud la proporción de oxígeno respecto a combustible garantiza la combustión completa del combustible. Esto en absoluto contraste con, por ejemplo, las plantas de energía alimentadas fósilmente (por ejemplo las plantas de energía utilitaria), que luchan con la pérdida de ignición. Esencialmente la pérdida de ignición es equiparable con una combustión incompleta del combustible. En el presente método, por otra parte, el oxígeno substancialmente puro y en proporción estequiométrica estrictamente controlada respecto al combustible minimiza y posiblemente elimina esas pérdidas. Además, en el presente método el único NOx teórico disponible es N Ox contenido por el combustible y no el que de otra manera podría resultar

de la combustión al utilizar aire. Así, si el NOx no es eliminado completamente sí es reducido a una cantidad insignificante en comparación con los sistemas de combustión convencionales.

[059] Los óxidos en el aluminio provienen de dos fuentes principales. Primero, del proceso de combustión; segundo, de óxidos que residen en el aluminio. Esto es así particularmente con retal de bajo grado o con metal primario. El presente proceso toma en consideración estas dos fuentes de óxidos y reduce o elimina su impacto sobre el producto de aluminio final. Primero, el presente proceso reduce los óxidos que se podrían formar como resultado del oxígeno alimentado para la combustión del combustible. Esto se logra controlando rigurosamente el oxígeno alimentado para que sea únicamente el necesario por proporción estequiométrica para la completa combustión del combustible.

[060] El presente proceso toma en consideración la segunda fuente de óxidos (la que reside en el aluminio) y elimina estos óxidos mediante los procesos de desgasificación y filtrado. Los beneficios son de dos. El primero es que se forma menos producto secundario en forma de escoria D; segundo, se mejora grandemente la calidad del producto terminado.

[061] Se ha encontrado también que usar una mezcla de combustible y oxígeno (y no una mezcla de combustible y aire) resulta en temperaturas de llama más altas en el horno de fusión. Usando oxígeno-combustible se logran temperaturas de llama en el horno de aproximadamente 2760°C. Esto representa aproximadamente 816°C a 1093°C más altas que otros hornos conocidos. También se ha observado que usando oxígeno-combustible, conjuntamente con estas temperaturas de llama más elevadas, resulta en un proceso de eficiencia sumamente alta. En una medida de la eficiencia se mide la energía requerida (en Joules) por kg de aluminio procesado. En un proceso cono-

~~33~~
330

cido la energía requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg de producto procesado. En el presente proceso y aparato los requerimientos de energía son considerablemente menores, aproximadamente $2,52 \times 10^6$ J/kg de metal procesado. Hay que anotar también que aunque el "combustible" mencionado arriba en referencia al presente método es gas natural, se puede usar cualquier combustible de base orgánica, por ejemplo petróleo (incluyendo petróleo de desecho), carbón, polvo de carbón, etc.

[062] Para el propósito de entender la termodinámica del proceso, la energía teórica requerida para fundir una kilogramo de aluminio es $1,17 \times 10^6$ J. Sin embargo, debido a que son inherentes ineficiencias específicas al proceso, se encontró que la energía real requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg al usar un sistema de combustión activado por aire. Estas ineficiencias incluyen, por ejemplo, el hecho de que los períodos de procesamiento reales son menores que el tiempo real que el horno está "activado" y otros cambios a lo largo del proceso, tales como aumentos o disminuciones de la anchura de moldeado. Además otras "pérdidas", tales como pérdidas de calor de escape y pérdidas de calor a través de las paredes del horno, se agregan a esta diferencia de energía.

[063] Además, el valor de $2,52 \times 10^6$ J/kg es un requisito de energía promedio, incluso tomando en cuenta estas "pérdidas". Se ha encontrado que cuando el proceso corre a una alta tasa de eficiencia, esto es cuando el aluminio se procesa casi continuamente en vez de mantener el horno "activado" sin procesamiento, el requisito "promedio" de energía se puede reducir hasta aproximadamente $1,74 \times 10^6$ J/kg a $2,1 \times 10^6$ J/kg.

El Horno de fusión

[064] Un presente horno de fusión 14 se construye principalmente de acero y materiales refractarios. Haciendo referencia a las FIGS. 5-9, el armazón 42 del horno tiene dimensiones exteriores de aproximadamente 6,1 m de ancho por 12,2 m de

largo por 3,66 m de altura. La estructura del armazón de acero 42 está formada por placas y vigas. Las placas y las vigas se identifica como 44 y 46 respectivamente para la armazón 42 del horno, excepto si se indica otra cosa distinta. El piso 48 está hecho en placas 44 de acero de 2,54 cm de espesor que están soldadas entre sí. Cada soldadura está sobre una viga 46 para garantizar la integridad del armazón 42 del horno.

[065] Se proporcionan vigas 46 adicionales para soporte del piso 48 del horno. Cada viga 46 proporciona una pestaña de 8 pulgadas de ancha aproximadamente cada 45,7 cm respecto al centro. Todas las vigas 46 (exceptuando las vigas de junta que tienen completamente soldadura de unión) están apuntadas a la placa 50 del piso. Esto permite "crecimiento" en el acero debido a la expansión térmica durante el calentamiento.

[066] Las vigas 46 proporcionan soporte y rigidez al piso 52 del horno. Las vigas 46 mantienen el horno 14 rígido para reducir el flexionamiento durante la instalación del material refractario y durante el uso a largo plazo. Las vigas 46 también proporcionan soporte de modo que durante el funcionamiento del horno 14 se minimiza la carga mecánica sobre los materiales refractarios. Las vigas 46 también elevan el piso 52 del horno del piso sobre el que está montado el horno 14. Esto permite el escape del calor que se forma debajo del horno 14.

[067] Las paredes laterales 54 del horno también están hechas de placa de acero y construcción de vigas. Se identifican dos regiones de pared, arriba de la línea del metal y debajo de la línea del metal. Esta diferenciación se hace por consideraciones tanto de resistencia como de valor térmico.

[068] Debajo de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,9 centímetros. Arriba de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,6 centímetros. En el presente horno, se considera (para propósitos de diseño) que los primeros 2,44 m están por debajo de la línea del metal y se considera (para

propósitos de diseño) que los 1,22 m superiores están arriba de la línea del metal.

[069] Las vigas 46 se usan para sostener las paredes laterales 54 del horno 14. Las vigas 46 están colocadas en líneas centrales de 45,7 cm que corren verticalmente a lo largo del horno 14. Las vigas horizontales 46 están colocadas en centros de 45,7 cm debajo de la línea del metal y en centros de 61 cm arriba de la línea del metal. Aunque la línea del metal en el horno 14 varía, ella es (por consideraciones de diseño) el nivel más alto de metal que habrá en el horno 14 durante el funcionamiento normal. Se pueden considerar factores adicionales en los que, por ejemplo, se puede asumir que la línea del metal esté 22,9 cm arriba de la línea de llenado máximo del horno 14.

[070] El techo 56 del horno 14 es un diseño refractario colgante. Las vigas 46 están en centros de 45,7 cm por toda la anchura del horno 14. Vigas adicionales 46 están soldadas a las vigas que se extienden por toda la anchura y dichas vigas adicionales están orientadas por todo lo largo del horno 14. Se han montado ganchos sujetadores a las vigas, a las cuales se han montado bloques refractarios premoldeados.

[071] El horno 14 tiene dos puertas principales 58 en el lado 54. Las puertas 58 se usan durante el funcionamiento para limpiar o para quitar la superficie del contenido de la cámara principal de calor o área de baño 60 y para cargar dicha cámara 60. Dentro del horno 14 se forma escoria D (la escoria contaminante que constituye la superficie del aluminio fundido) y debe ser quitada al menos una vez al día para mantener los porcentajes de transferencia de calor. La escoria D se elimina abriendo las puertas 58 y quitando ("desnatando") la superficie del pozo de metal fundido.

[072] Aunque durante el funcionamiento típico se coloca metal o retal en el pozo de carga 62 y luego se funde y se

26/333

transfiere a la cámara de calor 60, en el caso de algunos tipos de retal como bloques o lingotes, es mejor colocarlos directamente en la cámara principal de calor 60. Las puertas 58 se pueden abrir para transferir estos tipos de cargas a la cámara de calor 60.

[073] Las puertas 58 son de acero y construcción refractaria. Las puertas 58 se cuelgan en un sistema de polea mecánica (no mostrado) y se protegen mediante cadenas de seguridad para evitar que caigan al piso en caso de que falle el sistema de poleas. Para operar las puertas se usan cabrestantes eléctricos. Las puertas 58 se cuelgan de un miembro común de cruz que está sostenido del lado 54 del horno 14.

[074] El pozo principal de carga 22 está ubicado en el frente 64 del horno 14. El pozo 62 está separado de la cámara de calor 60 del horno y dividido en dos áreas: un área de carga 66 y un área de bomba de circulación 68. Una bomba de circulación 70 hace circular el metal del pozo caliente de metal fundido en la cámara principal 60 al área de carga de retal 62.

[075] Hay tres aberturas 72, 74 y 76, entre las cámaras 60, 66 y 68. La primera abertura 72 está en la división entre la cámara principal y el pozo de bombeo 68. La segunda abertura 74 está en la división entre el pozo de bombeo 68 y el área de carga de retal 68. La tercera abertura 76 está en la división entre el pozo de carga 66 y la cámara principal de calor 60.

[076] Todas las aberturas 72, 74 y 76 están aproximadamente 30,5 cm por debajo de la línea física o real de metal del horno 14. Las aperturas 72, 74 y 76 están debajo de la línea del metal para mantener el calor dentro de la cámara principal y evitar el flujo de óxidos entre las áreas divididas del horno 14 y para mantener el horno hermético al aire (es decir para mantener un medio ambiente controlado dentro del horno 14). La bomba 70 está ubicada en un área elevada para evitar que de-

ntro y alrededor de la bomba 70 se acumule excesivo desecho, rocas y retal.

[077] Una campana exhosto 78 está posicionada arriba de la cámara de carga 66. La campana está hecha en acero y está montada en vigas 46 similares a aquellas de las cuales están hechas las paredes laterales 54. Las vigas 46 están posicionadas en una placa que cubre la pared lateral del pozo, esencialmente tapándolo. La campana 78 ventila la cámara principal 60 del horno a través de cañón 80 (ver FIG. 4). El cañón 80 expulsa gases del horno 14 y puede cerrarse para mantener la presión en el horno 14.

[078] Los gases de escape salen del horno 14 y pasan a un filtro tipo bolsa 82 (FIG. 4). El filtro tipo bolsa 82 se usa principalmente para recoger el carbón no-quemado de pinturas, aceites, solventes, etc. inherentes al procesamiento de retal de aluminio.

[079] El horno 14 incluye cuatro quemadores 84 de oxígeno-combustible. Los quemadores 84 están instalados en una pared lateral 54 del horno 14 opuesta a las puertas 58. Se ha hecho una construcción de acero que circunda los quemadores 84 para permitir el montaje de los quemadores 84 y mantener rígida la pared circundante.

[080] El horno 14 está forrado con materiales refractarios. El piso 48 está hecho de dos materiales refractarios distintos. El primer material 86 es un concreto vertido, aproximadamente 15,24 cm de espesor, de alta resistencia, moldeable refractario, como por ejemplo AP Green KS-4, que forma una subchimenea. Un material 88 para piso se vierte arriba de la subchimenea 86 de modo monolítico con un espesor de aproximadamente 33 cm a 36 cm. El material 88 para piso es un material refractario AP Green 70AR. Es un material refractario moldeable constituido en un 70 por ciento de alúmina.

[081] Las paredes 54, 64 y 65 están hechas de dos capas de aislamiento 90 seguido por el material refractario 92 compactado plástico 70 AR moldeable o monolítico 85 por ciento alúmina adherido por fosfato (MONO P85). El contenido de alúmina del material es 85 por ciento. El aislamiento 90 de refuerzo es plancha aislante de aproximadamente 5,1 cm de espesor en las paredes laterales 54 del horno y de aproximadamente 7,6 cm de espesor en las paredes frontal y trasera 64 y 65 del horno. La diferencia de espesor del aislamiento 90 es para acomodar la expansión térmica del horno 14. Las paredes 54, 64 y 65 del horno crecerán aproximadamente 0,0104 cm por cm lineal. Así, el horno 14 crecerá (a lo largo de la longitud de 12,2 m) un total de aproximadamente 12,7 cm. Habiendo 15,24 cm de aislamiento 90 de refuerzo (tanto el del frente como el de atrás tienen 7,6 cm), el aislamiento 90 se aplastará y permitirá el crecimiento en las paredes 54, 64 y 65 del horno sin dañar el armazón d42 del horno.

[082] Entre la plancha aislante 90 aplastable y el material refractario 92 moldeado se ha colocado ladrillo aislante. El techo 56 está hecho en un 70 por ciento de material refractario moldeable de alúmina. El material se vierte en seis secciones de techo. Cada marco de puerta 58 está hecho en un 70 por ciento de material refractario AR de alúmina.

[083] El horno 14 tiene dos conjuntos de bloques vacíos (no mostrados). El primer conjunto está posicionado en el piso 52 del horno y sirve como bloques de drenaje. Un segundo conjunto de bloques está posicionado a 41 cm del piso del horno y sirve como conjunto de bloques de transferencia. Los bloques de transferencia están colocados en el exterior del horno para facilitar el reemplazo. Se forma el interior del horno y los bloques son dispuestos en el exterior y asentados con un adhesivo plástico.

[084] Hay dos rampas (no mostradas) en el horno, una en cada puerta principal de carga 58. Las rampas se usan para "desnatar" la escoria D del metal fundido y para permitir que el retal de aluminio se deslice hacia dentro del horno. Las rampas se componen de dos materiales. La base es un ladrillo resistente de aluminio de bajo grado, apilado para formar una rampa. El ladrillo se cubre con un material refractario moldeable (aproximadamente 45,7 cm de espesor), como por ejemplo el material 70AR. La rampa se extiende desde el borde del umbral hacia dentro del horno.

[085] La pared 96 que separa la cámara principal 60 del horno y el pozo de carga 62 tiene aproximadamente 56 cm de espesor y está hecha en material 70AR. La pared 96 está moldeada como una estructura monolítica individual.

[086] El horno 14 puede operar en varios modos desde vacío hasta conteniendo y manteniendo aluminio fundido. Cuando el horno 14 se encuentra en funcionamiento pico está lleno aproximadamente en un 80 a 90 por ciento. El metal fundido está aproximadamente a 760°C y la temperatura del aire en el horno es de aproximadamente 982°C. La temperatura de escape es aproximadamente 538°C. La temperatura del aire es medida por un termopar 98 en el lado superior de la pared 54 del horno 14. La temperatura del metal se mide en la base de la comba de circulación 70.

[087] El retal se carga en el horno por el pozo de carga 62 en incrementos de aproximadamente 1360,77 kg. Se entiende que el tamaño o peso del retal introducido varía dependiendo del tamaño y de la capacidad del horno 14.

[088] Desde la cámara principal 60 se bombea mediante la bomba de circulación metal fundido sobre la carga de metal frío. El metal fundido transfiere calor mediante conductividad a la carga de metal frío. La carga de metal se calienta rápidamente y se funde.

38
337

[089] El modo principal de transferencia de calor al aluminio recién cargado es por conductividad. La gran pileta de calor proporcionada por el horno lleno mejora este eficaz método de transferencia de calor. Cuando el horno está lleno en un 80 a 90 por ciento de su capacidad hay aproximadamente 99790 kg de aluminio fundido a una temperatura aproximadamente 760°C. Cuando se carga el retal en el horno 14, el baño actúa como pileta de calor y proporciona la energía necesaria para la transferencia de calor al metal recién cargado. Esto es cierto sin importar las dimensiones y la capacidad del horno, el cual aquí está adaptado al presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. La bomba de circulación 70 ayuda en la fusión del metal proporcionando metal fundido caliente al pozo de carga 62 desde la cámara principal 60 del horno. Además, mediante la circulación del metal fundido se mantiene baja la estratificación de calor por todo el horno 14.

[090] Se ha encontrado que mediante el bombeo o la circulación del metal fundido, la diferencia de temperatura entre la parte superior y el piso del horno (una diferencia de altura de aproximadamente 107 cm) es únicamente de unos cuantos grados centígrados. Así, el horno 14 actúa como una pileta de calor estable para proporcionar una fuente de calor consistente para la conducción de transferencia de calor al metal recién cargado.

[091] EL calor es aportado al horno 14 por los quemadores 84. Se cree que el principal modo de transferencia de calor al horno 14 es radiación, con alguna transferencia convectiva de calor. Debido a las altas temperaturas de llama, el sistema de combustión de oxígeno y combustible proporciona eficiente transferencia radiativa de calor. Además la geometría del horno 14 está diseñada para aumentar la cantidad de transferencia de calor maximizando el área de la superficie del metal sobre la cual ocurre la transferencia de calor de la llama al metal.

[092] Además, los materiales refractarios por encima de la línea del metal están hechos de un material con alto contenido de alúmina. Estos material reflejan el calor de los quemadores nuevamente hacia el metal fundido. Esto está en contraste con los diseños de hornos convencionales que más que reflejar el calor nuevamente hacia el pozo de metal fundido permiten que mucho del calor se escape del horno.

[093] Por ejemplo los hornos tradicionales usan materiales refractarios que tienen un bajo contenido de alúmina y alto valor de aislamiento en las paredes laterales superiores. El presente diseño, al contrario, usa materiales refractarios de alto contenido de alúmina para que se refleje más el calor radiativo de los quemadores 84 hacia el área del baño 60. Esto es contrario al diseño de hornos convencionales. En los hornos tradicionales las paredes laterales inferiores (definidas como estando por debajo de la línea del metal) usan para resistencia materiales refractarios de alto contenido de alúmina. En contraste, el presente diseño usa un material refractario moldeable de bajo contenido de alúmina, el cual es más avanzado y tiene un mayor valor aislante. En cierto sentido el presente diseño es completamente opuesto a la aplicación tradicional de materiales refractarios.

[094] Además, debido a que no se alimenta nitrógeno al horno 14 (a no ser el contenido por el combustible), el volumen de gases calientes (por ejemplo de escape) que pasan por el horno 14 es muy bajo. Ventajosamente, esto aumenta el tiempo de residencia de los gases en el horno 14 proporcionando oportunidad adicional para la transferencia de calor al metal fundido. La transferencia de calor convectiva, a pesar de ser relativamente baja, es más eficiente que en los hornos convencionales. Como los gases calientes en el presente horno 14 se aproximan a los 2760°C y tienen un tiempo de residencia relativamente largo, gran parte del calor ha sido removido antes del escape.

[095] Un presente horno 14 opera con una entrada de energía requerida para fundir de aproximadamente 2,52 J por kg. La entrada máxima de calor al horno 14 es aproximadamente $7,7 \times 10^6$ watts, y la entrada típica de calor es aproximadamente $1,93 \times 10^6$ watts a $2,32 \times 10^6$ watts. La entrada de calor dependerá obviamente del retal que está siendo fundido y de los requerimientos de producción. El horno es capaz de fundir hasta 18144 kg por hora.

El Sistema de Combustión

[096] El sistema de combustión, indicado en la FIG. 3, generalmente como 100, es un tren de combustión dual que funciona con una fuente de combustible (por ejemplo gas natural, fuel-oil, petróleo de desecho, carbón pulverizado o licuado) y una fuente de oxígeno. El sistema está diseñado como dos sistemas de combustión completos para facilitar el mantenimiento y conservar la energía durante los períodos de poco uso. En la FIG. 3. Se muestran un tren de oxígeno 102 y un ejemplo de tren de combustible de gas natural 104.

[097] El sistema de combustión 100 es controlado por un sistema de control (ilustrado en la FIG. 11 e indicado generalmente como 120) que incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 106 que monitorea todos los datos de entrada de temperatura del metal, temperatura del aire, flujo de combustible y de oxígeno, y proporciona un interfaz operatorio. Cada tren de combustión puede ser operado individualmente o en conjunto sobre la base de las condiciones y los requerimientos de funcionamiento.

[098] La principal variable de entrada del proceso usada para controlar el sistema de combustión 100 es la temperatura del baño de metal, que es medida por el termopar 108. Entre las variables alternativas de entrada del proceso están las señales de uno de varios sensores de la temperatura del aire 98 y 110. El esquema de control incluye entradas de termopares

4/11/30

(tipo K) ubicados en la pared superior del horno, en el cañón de escape y en el techo del horno, indicadas generalmente con entradas 112. El termopar primario 108 está ubicado en el baño de metal fundido 60. Los termopares 112 para el aire están forrados con alúmina o material similar para proteger de la atmósfera al elemento medidor. El termopar 108 del baño está protegido del metal fundido mediante un forro cerámico que es resistente al calor y a las condiciones corrosivas encontradas en el metal fundido. El termopar 108 del baño está configurado para anunciar la iniciación del sistema quemador únicamente cuando la temperatura del baño de metal cae por debajo de un nivel pre-establecido.

[099] El termopar del escape o el termopar del techo 116 está diseñado para protección contra la sobre-temperatura. Este termopar 116 está conectado a un circuito de sobre-temperatura que apaga los trenes de combustión 102 y 104 para proteger la estructura del material refractario y el horno 14 en el caso de que se alcance un límite de sobre-temperatura.

[100] El termopar 98 de la pared superior se usa primariamente para monitorear la temperatura del aire del horno 14. También se puede usar para operar el horno 14 en ausencia del termopar 108 del baño fundido. El termopar 112 de la pared superior también se usa como una variable de entrada al proceso cuando el metal está siendo cargado por primera vez en el horno 14 o cuando el nivel del metal fundido cae por debajo del termopar 108 del metal fundido.

[101] Un operador tiene completo control sobre todos los puntos de establecimiento de temperatura individual. Un panel de control 118 incluye indicadores de temperatura para todos los termopares 98, 108, 110, 112, 114, 116. El operador puede ajustar cada uno de los puntos de establecimiento de termopar hasta que se alcancen los límites de funcionamiento. Los límites de los puntos de establecimiento operacionales pueden ser

establecidos internamente con la CPU de tal modo que se puede establecer cualquier margen deseado de temperatura.

[012] El sistema de control 120 del sistema de combustión está configurado en dos partes. La primera parte 122 incluye dispositivos de seguridad permanentes tales como relés, interruptores límite, etc. que serán identificados por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Entre estos dispositivos de seguridad están incluidos todos los interruptores de presión de gas, las válvulas de desconexión y bloqueo y los detectores de llama. La segunda parte 124 del sistema de control 120 son las funciones de monitoreo y control automático efectuadas por la CPU 106.

[103] Los trenes de gas 104 están configurados en pares de tal modo que un tren puede estar en servicio mientras que el otro está fuera de servicio, por ejemplo para mantenimiento o durante períodos de bajo uso o poca carga. Cada tren de gas 104 está dimensionado apropiadamente con respecto a los requerimientos de flujo de oxígeno. Cada tren de gas 104 comienza en un válvula de desconexión tipo balón 130. El conducto 32 enruta el gas a través de un filtro 134 para eliminar cualquier desecho presente en el tubo. Una línea piloto de gas 136 se extiende desde el conducto 132 después del filtro 134.

[104] Un regulador de contrapresión 138 se usa para disminuir la presión de cabecera. Ahora la presión de oxígeno está establecida en aproximadamente 124×10^3 Newton por metro cuadrado (N/m^2). Una válvula de desconexión 140 y varias válvulas de seguridad 142 siguen en línea. Un flujómetro 144 de presión diferencial está ubicado más debajo de las válvulas de seguridad 142. El flujómetro 144 mide la temperatura y la presión diferencial del gas a medida que este fluye a través de un orificio 146. El presente flujómetro 144 es un flujómetro de presión diferencia Rosemount modelo 3095.

~~43~~
312

[105] Mediante estas medidas se determina una cantidad de flujo y una señal es transmitida al sistema de control 120. Una válvula de control 148 está en línea siguiendo el flujómetro 144. En un presente arreglo, se usa una válvula moduladores de control que recibe una señal de salida del sistema de control 120. La válvula 148 transmite una señal al sistema de control 120 y específicamente a la CPU 106 indicando la actual posición de la válvula 148.

[106] El tren de gas 104 se parte entonces en dos conductos separados 104a y 104b, cada uno de los cuales tiene una válvula 150a y 150b respectivamente. Las válvulas 150a y 150b se usan para balancear cada quemador 84 de tal modo que el flujo de gas se distribuya uniformemente.

[107] El tren de oxígeno 102 es similar al tren de gas 104, excepto que los tamaños de conducto y los componentes son más grandes para acomodar una cantidad mayor de flujo de oxígeno. En la FIG. 3 se ilustra un ejemplo de tren de oxígeno 102, en el cual los componentes que corresponden a los componentes del tren de combustible 104 están indicados mediante identificadores numéricos de la serie 200.

[108] Haciendo referencia a la FIG. 10, los quemadores 84 son de un diseño bastante sencillo. Cada uno de los cuatro quemadores 84 incluye un cuerpo principal de boquilla de entrada 152 que se extiende hasta dentro del horno 14. Una entrada de gas combustible 154 se extiende hasta el cuerpo de entrada principal 152 externo a la pared 54 del horno. Se alimenta oxígeno al cuerpo principal de boquilla de entrada 158 y este oxígeno se mezcla con el gas combustible. Un elemento encendedor (no mostrado) se extiende a través de una abertura central 156 en el cuerpo de entrada principal 152. El elemento encendedor proporciona una chispa para la ignición de la mezcla combustible/oxígeno.

~~64~~
~~77~~
343

[109] La operación del sistema de combustión 100 se efectúa fácilmente mediante una combinación de acción operadora de inicio y control automático por la CPU 106. A los sistemas de control se les proporciona energía que posibilita la función de la CPU 106 y de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122 del sistema de control 120. La CPU 106 inicia comunicación con las válvulas de control, los termopares y los relés que forman parte de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122. Los interruptores de presión de gas y oxígeno son de diseño doble alto/bajo. El interruptor de presión baja es normalmente una señal cerrada, mientras que el lado de alta presión es una señal normalmente abierta. La CPU 106 determina si está presente la señal apropiada y permite que el programa continúe. Si se identifica una señal inapropiada entonces se ponen en acción alarmas audibles y visuales. El esquema de control también monitorea su las válvulas de control de gas y oxígeno 148 y 248 están en la posición de "fuego bajo". Si las válvulas de control 148 y 248 están en la posición apropiada entonces se transmite una señal que permite que el sistema de control 120 continúe el procedimiento de arranque. La señal de sobre-temperatura también debe estar ausente para que el sistema 120 siga adelante con el procedimiento de arranque.

[110] Cuando se cumplen todas las condiciones de arranque, se inicia un ciclo de purga de nitrógeno. El nitrógeno se usa para purgar el horno 14 de todos los gases combustibles que hayan permanecido en el horno 14. A la purga de nitrógeno se le asigna un tiempo de tal modo que el volumen de nitrógeno por todo el horno 14 sea aproximadamente 2,5 veces el volumen del horno 14.

[111] Después de completada la purga, se arranca uno o los dos trenes de combustión. Un interruptor de control pone a funcionar ya sea un par de quemadores o todos los quemadores 84. Un controlador de llama abre los solenoides piloto. Nor-

malmente los solenoides piloto están cerrados, sin embargo al arrancar el funcionamiento los solenoides se abren y a través de un ensamblaje piloto fluye gas y oxígeno.

[112] En la punta del ensamblaje piloto los gases se mezclan y son encendidos por una chispa emitida controladamente por el controlador de llama. Al tener lugar la ignición un detector de llama 126 detecta la presencia o ausencia de llama y transmite una señal al sistema de control 120. Una vez que la llama ha sido detectada, el sistema de control 120 abre las principales válvulas de bloqueo tanto del gas como del oxígeno.

[113] Las principales válvulas de desconexión del combustible y del oxígeno 120 y 140 operan independientemente. Las válvulas de seguridad 142 y 242 están configuradas de tal modo que si la válvula de gas 140 no se abre, entonces las válvulas de seguridad 142 y 242 no se abren tampoco. Cuando la principal válvula de gas 140 se abre entonces se abren las válvulas de seguridad 142 y 242 del gas y del oxígeno. Con todas las principales válvulas de seguridad abiertas, un relé de control es energizado así como también una luz indicadora en el panel de control 118 para cada tren de gas. Un timer piloto permanece energizado durante un período predeterminado de tiempo, aproximadamente 30 segundos. Una vez transcurrido dicho período predeterminado de tiempo, se des-energiza el circuito piloto y se des-energizan las válvulas solenoides normalmente cerradas, aislando los ensamblajes piloto y la luz indicadora piloto para cada tren quemador.

[114] Los detectores de llama 126 monitorean permanentemente la llama. Al perderse la indicación de llama, una señal de alarma es transmitida a la CPU 106 y el circuito de control aísla las válvulas de desconexión del gas y del oxígeno 140 y 240 y las válvulas de bloqueo 142 y 242.

[115] Una vez que el piloto ha sido des-energizado, el sistema de control 120 asume la operación automática del horno.

78
345

Mientras que el sistema 120 está puesto en "fuego bajo", las válvulas de control del oxígeno 248 se mantienen en la posición cerrada sin importar los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. Las válvulas de control del gas 140 no son limitadas en su margen de operación ya que el flujo de gas sigue al flujo de oxígeno. El sistema de control 120 mantiene el gas en la proporción pre-establecida.

[116] Cuando la operación tiene lugar en el modo automático, el sistema de control 120 responde a las desviaciones de los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. La temperatura del horno es monitoreada y ajustada correspondientemente al punto de establecimiento de temperatura. Cuando la temperatura del proceso se desvía de la temperatura del punto de establecimiento, entonces se genera una señal de error y el sistema de control 120 transmite una señal a la válvula de control del oxígeno 248. El sistema de control 120 también controla la válvula de control del gas 148; la variable del punto de establecimiento sigue la cantidad de flujo (correlacionada estequiométricamente) de oxígeno tal como la establece el flujómetro de oxígeno. El sistema de control está configurado para limitar las válvulas de control 148 y 248, las cuales a su vez limitan la energía de salida de los quemadores 84.

[117] El sistema de combustión 100 y específicamente el sistema de control 120 pueden estar configurados para satisfacer cualquier aplicación deseada para y en cualquier industria que dependa de combustibles basados en carbono. Por ejemplo, en la presente planta procesadora 10 de retal de aluminio, hay tres aplicaciones o usos del sistema de combustión de oxígeno y combustible 100. El primero es para fundir aluminio en un medio ambiente de alta producción (es decir en el horno de fusión 14). Segundo, el sistema 100 está presente en el horno de almacenamiento 16 primariamente para temperatura de estado permanente y mezcla de aleaciones del aluminio fundido. La úl-

tima aplicación es en un horno de fusión de escoria 166 en el que se usan quemadores de alta temperatura para liberar las unidades de metal (aluminio que puede recuperarse para la producción) de la escoria D (producto secundario fundido) mediante choque térmico. En cada uso, los quemadores están instalados por razones de conservación de energía y ambientales.

[118] Las aplicaciones del presente sistema de combustión 100 varían según la salida térmica (medida en máximos watts), el tamaño y la orientación de los quemadores 84, así como también la temperatura a la cual están diseñados para funcionar los hornos 14, 16 y 166. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que se requieren diferencias mecánicas (por ejemplo tamaños de los conductos, etc.) para acomodar estas diferentes necesidades, y que la programación específica del sistema de control 120 y de la CPU 106 puede variar.

[119] El presente sistema de combustión 100 proporciona varias ventajas respecto a los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Por ejemplo, se ha demostrado mediante el funcionamiento que hay ahorros considerables de energía usando el presente sistema de combustión 100. Los quemadores 84 de oxígeno-combustible operan a una temperatura mucho más elevada que los hornos convencionales. De este modo, se ha observado que hay un aumento del calor disponibles para la fusión (en otras aplicaciones industriales este aumento de calor se puede utilizar por ejemplo para generación de vapor, incineración de desechos, etc.). Esto proporciona una reducción en la cantidad de combustible requerido para operar los hornos 14, 16 y 166. En la práctica de la presente invención se ha observado que la entrada térmica promedio (y la calculada) requerida por libra de aluminio fundido ha disminuido de aproximadamente $8,4 \times 10^6$ J por kg (en un horno convencional) hasta aproximadamente 2,52 J por kg en el horno de fusión 14. Esta es una reducción de aproximadamente 70 por ciento. Ade-

678
347

más, se ha demostrado que el combustible necesitado para mantener la temperatura en el horno de almacenamiento 16 es aproximadamente la mitad del necesitado en un horno convencional.

[120] Los ahorros de combustible se atribuyen a tres factores principales. Primero, el aumento de calor del sistema de combustión 100 permite quemar todo el combustible sin que haya exceso de oxígeno. Segundo, ateniéndonos a la teoría, se cree que el sistema de combustión 100 opera dentro de una zona de transferencia de calor radiativa (o radiante), con alguna transferencia de calor por conductividad.

[121] El sistema 100 está diseñado para aprovechar la transferencia de calor radiante dentro de los hornos 14, 16 y 166 para transferir calor eficientemente a los baños de metal. Tercero, debido a que no hay nitrógeno en el proceso de combustión, la cantidad de gas que fluye a través de los hornos 14, 16 y 166 es baja. Así, un aumento del tiempo de residencia de los gases calientes permite la liberación de una mayor proporción de energía (en forma de calor) antes del escape de los hornos 14, 16 y 166.

[122] El volumen típico de gas de escape es una fracción de aquel de los hornos convencionales. Habiendo aproximadamente 80 por ciento menos de gases (esencialmente el componente de nitrógeno del aire) en el horno de oxígeno-combustible, se aumenta grandemente la eficiencia de la combustión. En los hornos convencionales el componente de nitrógeno del aire absorbe gran parte de la energía (en forma de calor) de la masa fundida. En el presente sistema de combustión 100 se alimenta oxígeno (y no aire) y combustible a los hornos 14, 16 y 166 y se queman en una proporción estequiométrica. Esto se hace sin exceso de oxígeno. De este modo no hay energía absorbida por materiales no relacionados con la combustión (por ejemplo exceso de oxígeno o nitrógeno).

[123] El presente sistema de combustión 100 también proporciona aumento en la producción. Cuando se instala como parte de un horno de fusión, aumenta la capacidad de fusión o rendimiento. Esto también se atribuye a la rápida y eficiente transferencia de calor en el horno 14. Al introducir nuevo metal en el horno 14, el sistema de combustión 100 responde rápidamente para proporcionar calor para fundir el metal alimentado y mantener el calor (la temperatura) del metal fundido en el pozo 60 a la temperatura del punto de establecimiento. Se ha encontrado que el aluminio acepta calor muy eficientemente de una fuente de calor radiativa.

[124] Tal vez más importante es el reducido impacto medioambiental del presente sistema de combustión 100, en comparación con los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Ventajosamente el presente sistema de combustión 100 no usa nitrógeno (del aire) en el proceso de combustión. Típicamente la producción de NOx ocurre en un horno como producto de reacción del aire calentado que es alimentado por el sistema de combustión. Sin embargo, como el presente sistema 100 usa oxígeno y no aire, el NOx producido por el presente sistema de combustión se debe exclusivamente a la cantidad de nitrógeno elemental que hay en el combustible (es decir nitrógeno contenido en el combustible). Como los niveles de nitrógeno contenido por el combustible son sumamente bajos (en comparación con la cantidad de nitrógeno aportada por el aire en los hornos convencionales), los niveles de NOx del presente sistema de combustión están bastante por debajo de cualquier estándar industrial y de cualquier limitación gubernamental. Además de reducir la producción de NOx también se reduce grandemente la producción de otros gases invernadero como por ejemplo monóxido de carbono.

[125] Además del reducido impacto ambiental, el presente sistema de combustión de oxígeno y combustible conserva energía porque considerablemente más aluminio puede ser procesado

con considerablemente menos entrada de combustible (cualquier combustible basado en carbono, incluyendo carbón, polvo de carbón, gas natural o petróleo). Como resultado del procesamiento con menos utilización de combustible se logra la conservación de las fuentes de combustible. Esencialmente se usa menos combustible en total y también por kilogramo para producir aluminio. Esto reduce los costos de procesamiento (por ejemplo los costos de combustible) así como también el agotador uso de combustibles fósiles.

Abastecimiento de Oxígeno

[126] Como se darán cuenta las personas con experiencia en este campo de la técnica, los requerimientos de oxígeno para el presente sistema de combustión 100 pueden ser bastante elevados. Para tal fin, aunque el oxígeno se puede comprar, entregar y almacenar para el uso en el sistema, es más deseable tener una instalación de producción de oxígeno cerca del sistema de combustión de oxígeno-combustible o que forme parte de dicho sistema, tal como la planta procesadora de retal de aluminio ejemplarizada.

[127] Haciendo ahora referencia a la FIG. 4, se muestra una planta criogénica 180 para uso con el presente sistema de combustión 100. La planta criogénica 180 ejemplarizada ilustrada produce 105 toneladas al día de oxígeno de mínimo 95 por ciento de pureza y 1700 metros cúbicos estándar por hora de nitrógeno que tiene menos de 0,1 parte por millón de oxígeno. La planta 180 incluye un compresor 182 de tres niveles y $1,38 \times 10^6$ Watts. El aire comprimido a $4,89 \times 10^5$ N/m² entra a un purificador/expansor 184. El aire sale del expansor 184 a una presión de $4,76$ N/m² y a una temperatura de -164°C , y entra a una columna de destilación criogénica 186. En la columna el aire es separado (destilado) en nitrógeno gaseoso, nitrógeno líquido, oxígeno gaseoso y oxígeno líquido. El oxígeno gaseoso, indicado generalmente como 188, es alimentado directamente

al sistema de combustión 100 y el oxígeno líquido, indicado generalmente como 190, se almacena por ejemplo en los tanques 191 para posterior uso en el sistema de combustión 100. La presión del oxígeno de la planta criogénica 180 puede ser menor que la requerida para el sistema de combustión 100. Como tal, un soplador de oxígeno 192 se posiciona entre la descarga de oxígeno de la columna 186 y la alimentación del sistema de combustión 100 para elevar la presión al nivel requerido para el sistema de combustión 100.

[128] El nitrógeno gaseoso, indicado generalmente como 194, es alimentado a un sistema de recocido/liberación de tensión situado corriente abajo (no mostrado) dentro de la planta 10. Estos sistemas, que usan nitrógeno para tratar aluminio para liberar la tensión en el metal y para recocer el metal, serán reconocidos por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Además, el nitrógeno 194 se usa en las unidades desgasificadoras 24. La planta 10 también incluye un abastecimiento de respaldo de oxígeno y de nitrógeno, 191 y 196 respectivamente, en forma líquida por ejemplo para el caso de un mantenimiento u otras situaciones en las que la planta criogénica 180 no pueda abastecer los requerimientos de la planta. Los sistemas de respaldo 191 y 196 están configurados para abastecer automáticamente oxígeno y/o nitrógeno según se requiera, por ejemplo cuando la planta criogénica 180 no está en funcionamiento. El exceso de nitrógeno se puede almacenar, envasar y vender. Sistemas como este están disponibles comercialmente donde varios fabricantes, por ejemplo Praxair Inc. de Danbury, Connecticut.

Recuperación de Calor

[129] El sistema de procesamiento de aluminio 10 también aprovecha el calor de desecho de los distintos procesos. Específicamente, la planta 10 puede incluir un sistema de recuperación del calor de desecho, indicado generalmente como 200 en



la FIG. 4. El gas de escape 202 del horno de fusión 14 y del horno del almacenamiento temporal 16 es dirigido hacia un lado de un intercambiador de calor de desecho 204. Como el gas de escape 202 está a una temperatura de aproximadamente 538°C, hay una considerable cantidad de energía que puede ser recuperada. Además se puede recuperar energía del exhosto arriba del área de baño 60 del horno principal.

[130] El gas de escape 202 es dirigido hacia el intercambiador de calor de desecho 204. Un fluido de trabajo 206, por ejemplo pentano, fluye bajo presión a través del otro lado del intercambiador de calor 204. Hay que decir que un intercambiador de calor tipo placa o un intercambiador de calor tipo placa y tubo son los más apropiados para esta aplicación. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán los varios tipos de fluidos de trabajo que pueden usarse para el presente sistema de recuperación de calor de desecho, así como también los sistemas de intercambio de calor que son usados con estos tipos de fluidos de trabajo. Todos esos sistemas están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[131] El fluido 206 calentado es dirigido entonces a un vaporizador 208, donde se permite que el fluido 206 se expanda convirtiéndose en vapor. El vapor 206 es dirigido a un conjunta turbogenerador 210 para producir electricidad. Luego se condensa el vapor en un condensador 212 y se devuelve al intercambiador de calor 204. Hay que decir que del gas de escape 202 de la planta procesadora de retal descrita arriba se puede recuperar suficiente energía para producir aproximadamente 1,5 a 2,0 megawatts de energía en forma de electricidad.

[132] Aunque se puede emplear una amplia variedad de fluidos de trabajo 206 para uso en un sistema de recuperación de energía de desecho o de calor de desecho 200, en un sistema actualmente contemplado se usa pentano como el fluido de trabajo

206. Dicho sistema basado orgánicamente proporciona varias ventajas respecto, por ejemplo, a los sistemas basados en vapor. Hay que decir que el fluido de trabajo 206 basado en pentano en un arreglo de ciclo Rankine estándar permitirá variaciones en el abastecimiento de vapor más fácilmente que un sistema basado en vapor. Como la producción de calor de los hornos (de fusión 14 y de almacenamiento 16) depende de la producción de metal y no de las necesidades eléctricas, es probable que la entrada de energía al sistema de recuperación 200 varíe y sea la característica controladora para la producción de energía. Como tal, un fluido 206 tal como el pentano proporciona la mayor flexibilidad que se requiere para tal sistema de recuperación 200.

[133] Como lo reconocerán las personas con experiencia en este campo de la técnica, la energía eléctrica generada puede ser usada para proporcionar parte de la energía necesaria para la planta 10 de procesamiento de retal, incluyendo la planta criogénica 180. La energía para operar la planta 10 puede ser proporcionada por un sistema de combustión de oxígeno-combustible empleado en una planta generadora de energía (usando un horno o quemador) para generar vapor para un conjunto turbogenerador de vapor. En tal arreglo, cuando la energía generada excede los requerimientos de la planta 10, el exceso de energía puede ser vendido por ejemplo a una instalación eléctrica local.

Procesamiento de Escoria

[134] Haciendo referencia ahora a la FIG. 2, los contaminantes o escoria D del horno de fusión 14 se procesa ulteriormente, de forma separada y aparte de la recuperación en línea del aluminio, en un proceso de recuperación de escoria indicado generalmente como 164. La escoria D se elimina, por ejemplo mediante "desnatado", de la parte superior del pozo de aluminio fundido 60 en el horno de fusión 14. La escoria D se pren-

sa por medios mecánicos en una tasa tipo tamiz 168. La acción de prensado empuja el aluminio A de la escoria D a través de las aberturas 170 de la tasa 168. El aluminio A prensado de la escoria D se recupera y se devuelve al horno de fusión 14.

[135] La escoria cargada de óxido se alimenta al horno de recuperación 166 para recalentamiento. El horno de recuperación 166 es de un diseño similar al del horno de fusión 14 en cuanto usa un diseño de sistema de combustión de oxígeno-combustible 100. En la operación, sin embargo, el horno de recuperación 166 "somete a choque" al material cargado de escoria usando incidencia de llama directa cercana de aproximadamente 2760°C para liberar el metal de aluminio de la escoria D. La temperatura del baño fundido 172 en el horno de recuperación 166 es también considerablemente mayor, aproximadamente 788°C-816°C, con una temperatura del aire del horno de aproximadamente 1093°C-1204°C. Además el proceso de "choque" se efectúa en una atmósfera altamente reducida substancialmente sin exceso alguno de oxígeno dentro del horno 166 (en contraste con los hornos convencionales que operan con niveles de exceso de oxígeno de aproximadamente 3 a 5 por ciento).

[136] El horno de recuperación 166 también es "desnatado" y la escoria resultante se prensa. El aluminio recuperado A es transferido al horno de fusión 14. La escoria restante D2 se envía luego para procesamiento fuera del horno de recuperación a un procesador de escoria para adicional recuperación de aluminio. Se ha encontrado que el presente proceso, incluyendo el proceso de recuperación de escoria, proporciona un aumento significativo en la recuperación del metal. La escoria D2 que se envía en último término para procesamiento adicional es únicamente una fracción de la cantidad original de escoria D, con lo cual se reducen los costos del procesamiento y se aumenta la recuperación de aluminio.



[137] Es importante el hecho de que el presente proceso de recuperación de escoria 164 se efectúa sin uso de sales o de cualesquiera otros aditivos. Más bien, se usa el choque térmico para liberar el metal de los óxidos. Los procedimientos de recuperación conocidos usan sales para separar los óxidos del metal. Como la sal permanece en los óxidos, los cuales a su vez se desechan, entonces las sales también son en último término desechos. Estas sales pueden ser peligrosas y/o tóxicas para el medio-ambiente. Como tal, el presente proceso 164 es ambientalmente benéfico ya que elimina la necesidad de estas sales y por lo tanto su desechamiento.

[138] Respecto al esquema de procesamiento 164 total, también se ha encontrado que los presentes pasos de recuperación (por ejemplo el doble prensado con recalentamiento intermedio) resulta en cantidades de recuperación de aluminio significativamente mejoradas con respecto a las de los procesos conocidos, dependiendo del grado del retal. Se han logrado aumento multi-porcentuales en la cantidad de metal recuperada de la escoria D.

Otras Aplicaciones para el Sistema de Combustión

[139] Como se mencionó arriba, es evidente que se pueden lograr aumentos en la eficiencia usando oxígeno en todos los procesos continuos. Por ejemplo las plantas generadoras de energía pueden aumentar la temperatura de llama o reducir la pérdida de ignición (LOI) en los quemadores mediante la introducción de oxígeno a la fórmula de combustión (y no aire). Esto puede aumentar las eficiencias en la operación. Esencialmente la combustión de cualesquiera combustibles basados en carbono puede ser mejorada mediante la introducción de oxígeno. Los beneficios son tanto económicos como medio-ambientales. Hasta el presente ninguna otra industria distinta a la de fabricación de vidrio ha adoptado la tecnología del oxígeno-combustible. En la industria de fabricación de vidrio

esta tecnología se usa no por la eficiencia que resulta, sino por la elevada temperatura de fusión requerida para el proceso de producción del vidrio.

[140] Sin embargo, el uso de sistemas de combustión de oxígeno-combustible en todas las aplicaciones industriales y generadoras de energía puede proporcionar una reducción en el consumo de combustible con una equivalente producción de energía o generación de calor. La reducción del consumo de combustible junto con el uso eficiente del combustible (es decir la combustión eficiente) proporciona emisiones de NOx grandemente reducidas o substancialmente nulas y reducciones significativas en la emisión de otros gases invernadero.

[141] Debido a la variedad de combustibles industriales que pueden ser usados, por ejemplo carbón, gas natural, distintos petróleos (de calefacción y de desecho), madera y otros desechos reciclados, junto con los distintos métodos, actuales y propuestos, para generar oxígeno, las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán el enorme potencial respecto a la aplicabilidad industrial del presente sistema de combustión. La selección del combustible se puede hacer sobre la base de la disponibilidad, de los factores económicos y de las preocupaciones medio-ambientales. De esta forma, no se especifica ningún combustible determinado sino más bien mieles de ellos y de hecho todos los combustibles basados en carbono son compatibles con el presente sistema. Además existen muchas tecnologías aceptables para producir oxígeno de altos niveles de pureza. Entre tales tecnologías están la criogénica, los sistemas de membrana, las unidades de absorción, la hidrólisis, etc. Todos estos usos de combustible y abastecimientos de oxígeno están dentro del alcance de la presente invención. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que los otros gases producidos, por ejemplo hidrógeno y nitrógeno, se pueden almacenar, envasar y vender.

[142] Como se mencionó en detalle arriba, una aplicación para el presente sistema de combustión es el procesamiento y la recuperación de retal de aluminio. Entre las otras aplicaciones que se mencionan más abajo están los quemadores y los incineradores para generación de energía industrial. Estas aplicaciones se centran en la flexibilidad y la aplicabilidad de esta tecnología para amplios usos industriales.

[143] En general el uso de combustión activada por oxígeno y combustible brinda significativas ventajas en muchas áreas en comparación con los actuales o tradicionales sistemas de combustible y aire. En primer lugar está la capacidad de funcionar a niveles estequiométricos precisos sin el impedimento del nitrógeno en el sistema de combustión. Esto permite mayor eficiencia en el uso de combustible y reduce grandemente los niveles de NOx en la aplicación del sistema. Se requiere significativamente menos combustible para lograr los mismos niveles de producción de energía, lo cual a su vez reduce los costos totales de funcionamiento. Al usar menos combustible para obtener la misma producción de energía se logra una reducción natural de las emisiones. El ahorro de combustible y la reducción de las emisiones son tan solo dos de los beneficios proporcionados por el presente sistema.

[144] Los generadores de vapor para la producción de electricidad, por ejemplo mediante calderas de energía industriales, son variados pero sin embargo dependen fundamentalmente de sus sistemas de combustión para producir vapor para hacer rotar un conjunto turbogenerador. Los combustibles usados varían con base en el diseño de los generadores de vapor. No obstante, todas las calderas requieren un agente oxidante. Al emplear el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa oxígeno de alta pureza como el único agente oxidante en toda la caldera o se usa como un complemento al aire que proporciona oxígeno para la combustión.

[145] Los beneficios que son disfrutados por otras aplicaciones industriales son también válidos para la industria generadora de energía. Por ejemplo, el uso de oxígeno dentro de la zona de combustión aumenta la temperatura de llama y al mismo tiempo corta la pérdida de ignición (LOI) proporcionando oxígeno inmediatamente disponible para la combustión. Al aumentar las temperaturas de llama se pueden alcanzar mayores cantidades de generación de vapor con la misma cantidad de consumo de combustible. Dicho a la inversa, con cantidades menores de consumo de combustible se obtiene la misma generación o producción de energía. La temperatura de llama dependerá de la concentración del oxígeno proporcionado para la combustión. Para tal fin, sin complemento o enriquecimiento alguno de oxígeno (es decir aire puro para la combustión) las temperaturas de llama será aproximadamente 1649°C . Haciendo referencia a lo dicho arriba, con oxígeno puro como agente oxidante la temperatura de llama será aproximadamente de 2482°C a aproximadamente 2760°C . Las temperaturas de llama para distintos grados de complementación de oxígeno pueden ser interpoladas (se cree que linealmente) entre estas temperaturas.

[146] El oxígeno también puede usarse juntamente con sistemas de aire sobre-alimentado o con quemadores de poco NO_x para reducir el N_2O_x y otros gases invernadero garantizando al mismo tiempo una llama estable estequiométricamente. Los típicos quemadores de poco NO_x aumentan a menudo la pérdida de ignición. Esto exige que los operadores quemen más combustible. Mediante la adición de oxígeno enriquecido al proceso de combustión el combustible se quema completamente de forma estequiométrica sin que haya presente nitrógeno adicional (por entrada adicional de aire) que produzca NO_x .

[147] Hay que decir que las calderas serán diseñadas alrededor de sistemas de combustión de oxígeno-combustible para aprovechar totalmente los beneficios de estos sistemas. También hay que decir que las mejoras o modificaciones al equipo

existente también proporcionarán varios de estos beneficios tanto al operador (por ejemplo la instalación) y al medio-ambiente.

[148] Por ejemplo la FIG. 12 ilustra esquemáticamente una caldera u horno 300 activado por carbón. En la pared 304 del horno 300 está formada una caja de viento 302. Un quemador 306, a través del cual se introduce el carbón al horno 300, se extiende a través de la caja de viento 302. El carbón es llevado al horno 300 por un conducto de carbón 308. Se abastece aire primario (indicado como 310) para transportar el carbón (desde un pulverizador no mostrado) a través del conducto 308 y del quemador 306 al horno 300. Se abastece aire terciario (indicado como 312) al conducto de carbón 308 para garantizar que el carbón se transportado al quemador 305.

[149] Se abastece aire secundario (indicado como 314) desde la caja de viento 302 directamente al horno 300 a través de los registros 316 en la pared 304 del horno. El aire secundario 314 es la fuente primaria de aire para el proceso de combustión. En un sistema bien identificado y conocido para controlar el NO_x, un sistema de aire sobre-alimentado (indicado como 318) inyecta aire (desde la caja de viento 302) al horno 300 sobre la llama F. El propósito subyacente del aire sobre-alimentado es doble. Primero, proporcionar suficiente oxígeno para garantizar la completa combustión del combustible. Segundo, reducir la temperatura de llama y así reducir la producción de NO_x.

[150] También se ha contemplado el uso del presente sistema de combustión en relación con los incineradores de desechos industriales. Los incineradores típicos de desechos operan sobre la base de tiempo resonante, temperatura y exceso de oxígeno. Un sistema de oxígeno-combustible permitirá mayor eficiencia en la operación.

[152] El tiempo resonante depende del tamaño físico de la cámara calentada y de la velocidad y del volumen de los gases que pasan a través de la cámara. A medida que se saca nitrógeno de la cámara, naturalmente el tiempo resonante aumenta porque el volumen de gas usado en el proceso de combustión es menor (en aproximadamente 80 por ciento). Cuando un incinerador está específicamente diseñado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible entonces el incinerador requiere considerablemente menos costos de capital debido al tamaño reducido que se requiere.

[153] Las temperaturas de llama típicas de los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son mucho más altas que las de los sistemas de aire y combustible. Así, la eficiencia de la combustión requiere menor entrada térmica del combustible, lo cual resulta en menores costos operativos. Uno de los beneficios del sistema de combustión de oxígeno-combustible es el control logrado sobre los niveles excesivos de oxígeno. En el caso de los incineradores convencionales se requiere exceso de oxígeno para quemar los carbonos orgánicos volátiles (VOCs) y el carbono no quemado. Este exceso de oxígeno se abastece inyectando aire a la cámara donde el oxígeno (del aire) se usa para completar el quemado de los carbonos orgánicos volátiles y del carbono no quemado. Aunque el aire proporciona el necesario exceso de carbono, él también permite la entrada de nitrógeno a la cámara. El exceso de nitrógeno que se introduce (para proporcionar el exceso de oxígeno) resulta en un aumento en la producción de NOx. Además, el exceso de aire globalmente resulta en la generación de otros gases invernadero y además actúa enfriando la cámara. Este indeseable enfriamiento requiere entonces calor adicional del sistema de combustión para superar este efecto enfriador.

[154] La FIG. 13 ilustra esquemáticamente un horno industrial 400 típico. Se introducen desechos (indicados como 402) en la cámara 404. Un quemador 406 es alimentado con aire (in-

dicado como 408) y combustible (indicado como 410) para producir una llama F para incinerar los desechos 402. Un monitor 412 de monóxido de carbono (CO) se encuentra ubicado arriba de la llama F para determinar el nivel de CO en el gas de escape. Cuando el nivel de CO es demasiado alto entonces se alimenta aire adicional al quemador 406. Opcionalmente se puede alimentar aire a la cámara desde una ubicación 414 separada del quemador 406 para proporcionar el aire adicional.

[155] Este método de operación tiene numerosos inconvenientes. Como se mencionó arriba, los dos factores controladores en la incineración de desechos son tiempo y temperatura. Es decir, temperaturas más altas y mayores tiempos resonantes aumentan la incineración de los desechos. Sin embargo, la adición de aire (para reducir los niveles de CO) aumenta la cantidad de flujo a través de la cámara 404 y reduce así el tiempo resonante. Además, aunque el aumento de flujo de aire reduce las temperaturas de llama (lo cual a su vez reduce la producción de NOx), él también introduce altos niveles de nitrógeno, lo cual tiende a aumentar la producción de NOx y a compensar el efecto de enfriamiento (y de reducción en la producción de NOx). Además, debido al efecto enfriador que tiene el aire, se reduce la eficiencia del proceso de incineración.

[156] El presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, por otra parte, usa oxígeno de alta pureza, lo cual permite quemar el material no quemado sin que haya producción de NOx y de otros gases invernadero y sin que haya efectos enfriadores. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible brinda varias ventajas respecto a los sistemas incineradores convencionales o tradicionales. Como el deber primario de un incinerador es quemar carbonos orgánicos volátiles (VCOs) y otros contaminantes de que ellos lleguen a la atmósfera, el presente sistema de combustión reduce el combustible usado y resulta así en una producción reducida

de NOx y de otros gases invernadero y generalmente también en un volumen reducido de gases de chimenea.

[157] Además, los costos de instalación (por ejemplo el capital) y de funcionamiento de los incineradores que emplean sistemas de combustión de oxígeno-combustible se reducirá grandemente. El costo en capital del incinerador se reducirá porque se espera que sea mucho menor el volumen de gases a través del sistema. Como se dijo arriba, debido a que la producción de gas es mucho menor entonces el tamaño total del incinerador puede ser considerablemente menor que en los sistemas convencionales manteniéndose simultáneamente el mismo tiempo resonante. De este modo, el incinerador puede ser físicamente más pequeño para manejar la misma carga de desechos, y los sistemas de apoyo y el equipo auxiliar requeridos pueden ser igualmente más pequeños.

[158] Además, los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son por lo general considerablemente más eficientes que los sistemas incineradores convencionales y requieren solo una fracción de la cantidad de entrada de energía requerida. El sistema también se presta bastante bien para aplicaciones de incinerador en las que el combustible es carbono no quemado o VOCs. Igualmente, como no hay nitrógeno presente en el conjunto de llama entonces el desarrollo de NOx se mantiene en un mínimo, relegado únicamente al NOx formado por el nitrógeno contenido en el combustible.

[159] Las industrias descritas arriba son solo unos cuantos ejemplos de industrias que se pueden beneficiar del uso del presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. La personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán la aplicabilidad de este sistema en las industrias química y petroquímica, en la industria generadora de energía, en las industrias de plásticos, en la industria del transporte, etc.

La Combustión de Oxígeno-Combustible - Beneficios y Ventajas

63
362

[160] Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán los beneficios y las ventajas del sistema de combustión de oxígeno-combustible. Sin embargo, en un ejemplo de instalación procesadora de retal de aluminio, usando un horno encendido por aire adaptado para gas natural, se encontró que la energía requerida para procesar o fundir una libra de retal de aluminio (determinada por los metros cúbicos de gas natural usados) era $8,42 \times 10^6$ Joules (presentados como $8,42 \times 10^6$ Joules/kg). Es decir que para fundir cada kilogramo de aluminio se necesitaron aproximadamente 0,098 metros cúbicos estándar de gas natural. El requerimiento de $8,42 \times 10^6$ Joules se basa en cada metro cúbico estándar de gas natural que tiene un contenido calorífico de $1,107 \times 10^6$ Joules.

[161] En contraste, usando el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, se encontró que únicamente se necesita 0,029 m³ estándar de gas natural (ó $2,52 \times 10^6$ J) para fundir cada kilogramo de aluminio. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno combustible usó $2,52 \times 10^6$ J / $8,42 \times 10^6$ J ó 29,9 por ciento del combustible requerido por un horno encendido por aire. Esta es una reducción de 1.0 menos 0,299 o sea aproximadamente 70 por ciento en el consumo de combustible.

[162] Reducciones similares aunque no tan drásticas del consumo de energía se han observado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible que usa petróleo de desecho como combustible. Se encontró que el contenido de calor del combustible de petróleo de desecho necesitado para fundir cada libra de aluminio fue de $2,83 \times 10^6$ J. Así, la reducción observada con petróleo de desecho fue $2,83/8,42$ o sea 33,6 por ciento, resultando en una reducción de aproximadamente 66 por ciento en el combustible consumido. Como tal, incluso antes de considerar la reducción de los contaminantes producidos, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible mostró reducciones en el consumo de combustible de aproximadamente 70 por ciento y 66 por ciento usando gas natural y petróleo de dese-

cho respectivamente en comparación con un horno encendido por aire y por gas natural.

[163] La Tabla 1 que aparece abajo ilustra una comparación de los contaminantes producidos usando un sistema de combustión alimentado por aire y gas, un sistema de combustión alimentado por oxígeno y gas, y un sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho. Los contaminantes mostrados son monóxido de carbono (CO), compuestos gaseosos de nitrógeno NO_x), materia particulada con un tamaño menor de 10 micrones (PM₁₀), materia particulada total (PT), compuestos gaseosos que contienen azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles de carbono (VOC).

[164] Los datos se muestran en dos formas, a saber: toneladas producidas por año (TPY) y libras producidas por millón de BTUs usados (lbs/MMBTU). Los paréntesis que siguen los datos de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO representan las reducciones de contaminante respecto a las del sistema de combustión alimentado por aire y gas.

TABLA 1 - ANALISIS DE GASES DE CHIMENEA PARA SISTEMAS DE COMBUSTION DE AIRE-GAS, OXIGENO-GAS Y OXIGENO-PETROLEO

	AIRE-GAS		OXIGENO-GAS		OXIGENO-PETROLEO	
Contaminante	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU
CO	4,88	2,0E-2	1,51	6,0E-3 (68,9)	1,32	5,0E-3 (73,0)
NO _x	24,38	1,0E-1	0	0 (100,00)	10,04	0,041 (58,8)
PM ₁₀	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,146	6,0E-4 (-410)
PT	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,169	6,9E-4 (-490)
SO _x	0,146	6,0E-4	4,5E-2	1,9E-4 (69)	1,39	5,7E-3 (-848)
VOC	0,582	2,4E-3	4,0E-1	1,6E-3 (31)	3,33	1,4E-2 (-471)

[165] Los valores para PM10, PT, S Ox y VOC para el sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho muestran aumentos (así como reducciones negativas). Esto se debe en parte a que en el ejemplo de sistema de combustión no se usan procesos de tratamiento "pos-combustión". Hay que decir que apropiados procesos "pos-combustión" incluirían filtros de bolsa (para la materia particulada) y lavadores (para los gases que contienen azufre) y resultarían en reducciones de al menos aproximadamente 98,99 a 95 por ciento, respectivamente, en las cantidades de las emisiones. Los valores obtenidos en la TABLA 1 se basaron en la reducción en el consumo de combustible observado y fueron determinado de conformidad con los criterios aceptados de la Agencia de Protección Medio-Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tal como lo establecen las tablas AP42 de la USEPA (disponibles en el sitio web de la USEPA).

[166] Hay que anotar que los valores que aparecen arriba se basan en el control del medio-ambiente dentro del horno en el cual se usa el sistema de combustión de oxígeno-combustible. Es decir, los valores mostrados arriba que indican reducción en los contaminantes para los sistemas de combustión de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO requieren que el horno en el cual están instalados los sistemas de combustión estén diseñados para limitar el ingreso de aire (es decir de nitrógeno en la atmósfera de combustión) a una cantidad insignificante.

[167] Así, como lo apreciarán las personas con experiencia en este campo de la técnica, el uso de oxígeno de alta pureza (o de aire altamente enriquecido con oxígeno) y de cualquier combustible basado en carbono es altamente adaptable a muchos sistemas industriales existentes. Hay que decir que los usos para tal sistema en aplicaciones industriales estándar y convencionales proporcionará un miriada de ventajas y beneficios respecto a los sistemas alimentados y sobre-alimentados por aire que se usan actualmente. Aunque muchas de las actuales



plantas físicas pueden requerir rediseño y modificación para incorporar el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible para mejorar el rendimiento y la producción, se ha contemplado que los beneficios ganados haciendo esos cambios en diseño y estructura, tales como reducción en los costos de operación, por ejemplo menores costos en combustible, menores costos de capital y disminución de las emisiones, serán bastante mayores que los costos para hacer esos cambios.

[168] En la presente revelación ha de sobreentenderse que las palabras "un" o "una" incluyen tanto el singular como también el plural. A la inversa, cualquier referencia a ítems plurales ha de incluir, cuando sea apropiado, el singular.

[169] De lo anterior se observará que se pueden hacer numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse del verdadero espíritu y alcance de los conceptos novedosos de la presente invención. Se ha de sobrentender que las formas específicas de realización ilustradas no tienen propósito limitante y que de ellas no se debe inferir limitación alguna. La revelación tiene el propósito de cubrir mediante las reivindicaciones adjuntas todas las modificaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1 Un método para recuperar aluminio del aluminio mezclado con otros materiales diferentes a él, método que incluye los pasos de:

alimentar el horno con aluminio mezclado con otros materiales diferentes a él, estando configurado el horno para evitar substancialmente la introducción de aire;

alimentar al horno oxígeno de una pureza predeterminada mayor de 21 por ciento;

alimentar al horno combustible basado en carbono;

efectuar en el horno la combustión del oxígeno y del combustible basado en carbono, siendo alimentados al horno el oxígeno y el combustible basado en carbono en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro con el fin de limitar un exceso ya sea de oxígeno o de combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento respecto a la proporción estequiométrica, y proporcionando la combustión del combustible basado en carbono una temperatura de llama por encima de aproximadamente 2482° C., y teniendo una corriente de gas de escape del horno una temperatura de no más de aproximadamente 593° C.;

fundir el aluminio en el horno;

sacar del horno el aluminio cargado de contaminantes; y

descargar el horno aluminio substancialmente puro.

2 El método para recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 1 incluyendo el paso de recuperar el calor de desecho del horno.

3 El método para recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, incluyendo el paso el de recuperar aluminio del aluminio cargado con contaminantes y cargar en el horno el aluminio recuperado.

4 El método para recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 2, incluyendo el paso de convertir en electricidad el calor de desecho.

5 Un método que no utiliza sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria, el cual comprende los pasos de:

introducir al horno el aluminio cargado de escoria, estando el horno configurado para evitar substancialmente la introducción de aire, teniendo el horno un sistema de combustión de oxígeno y combustible para la combustión de un combustible basado en carbono con oxígeno de una pureza predeterminada mayor de 21 por ciento con el fin de producir una temperatura de llama de aproximadamente 2760°C y no teniendo el horno substancialmente exceso alguno de oxígeno, siendo fundido dentro del horno el aluminio cargado de escoria;

"desnatar" una porción superior del aluminio cargado de escoria fundido para producir un producto fuertemente cargado de escoria;

prensar en una prensa mecánica el producto fuertemente cargado de escoria para separar el aluminio del producto fuertemente cargado de escoria con el fin de producir un producto concentrado fuertemente cargado de escoria.

6 El método que no utiliza sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria de acuerdo con la reivindicación 5, incluyendo el paso de devolver al horno el producto concentrado fuertemente cargado de escoria.

7 El método que no utiliza sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria de acuerdo con la reivindicación 5, incluyendo introducción al horno del aluminio cargado con escoria bajo incidencia de llama directa cercana.

8 El método de recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 1 incluyendo el paso de alimentación de combustible basado en carbono al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del oxígeno.

9 El método de recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, incluyendo el paso de alimentación de oxígeno al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del combustible basado en carbono.

10 El método de recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, incluyendo el paso de controlar al menos el abastecimiento de combustible basado en carbono o el abastecimiento de oxígeno para mantener una o más temperaturas en el horno en o por debajo de una o varias temperaturas deseadas.



11 El método de recuperar aluminio de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual la una o las varias temperaturas deseadas se basan en parte en la transferencia de calor según ésta es afectada por la geometría del horno.

12 El método que no utiliza sal para separar aluminio de acuerdo con la reivindicación 5 incluyendo el paso de alimentación de combustible basado en carbono al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del oxígeno.

13 El método que no utiliza sal para separar aluminio de acuerdo con la reivindicación 5, incluyendo el paso de alimentación de oxígeno al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del combustible basado en carbono.

14 El método que no utiliza sal para separar aluminio de acuerdo con la reivindicación 5, incluyendo el paso de controlar al menos el abastecimiento de combustible basado en carbono o el abastecimiento de oxígeno para mantener una o más temperaturas en el horno en o por debajo de una o varias temperaturas deseadas.

15 El método que no utiliza sal para separar aluminio de acuerdo con la reivindicación 14, en el cual la una o las varias temperaturas deseadas se basan en parte en la transferencia de calor según ésta es afectada por la geometría del horno.

1/5

FIG. 1

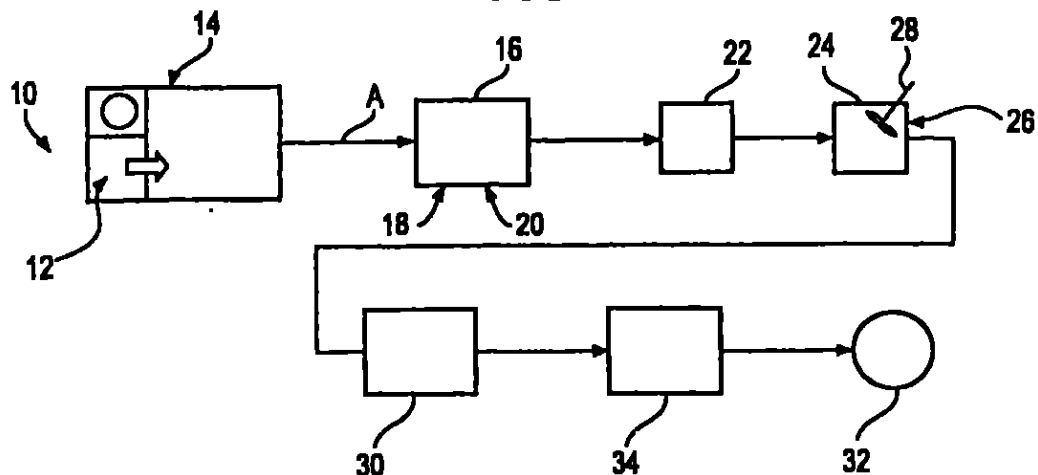


FIG. 2

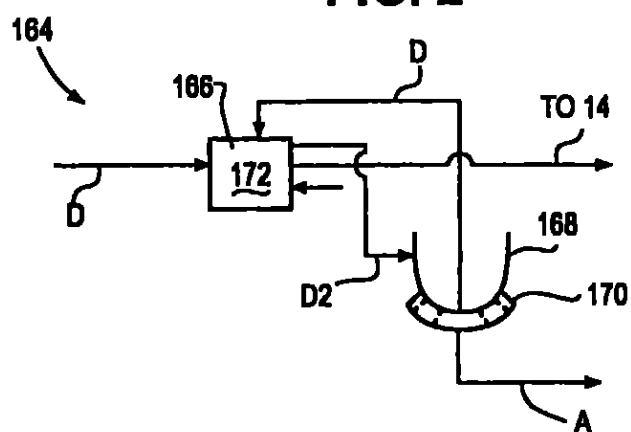
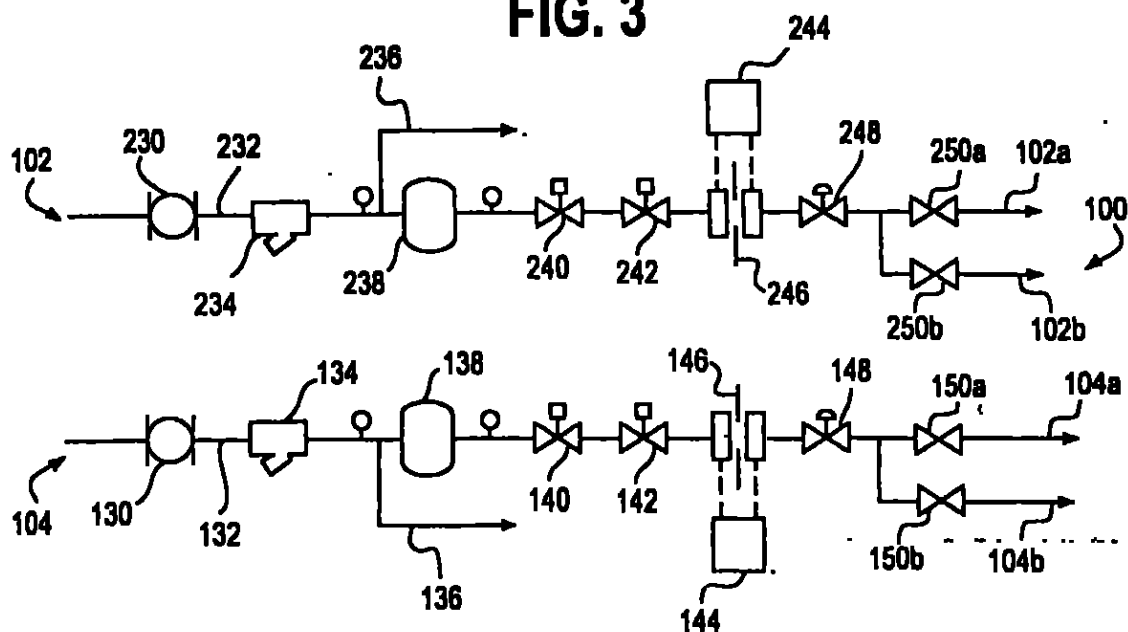


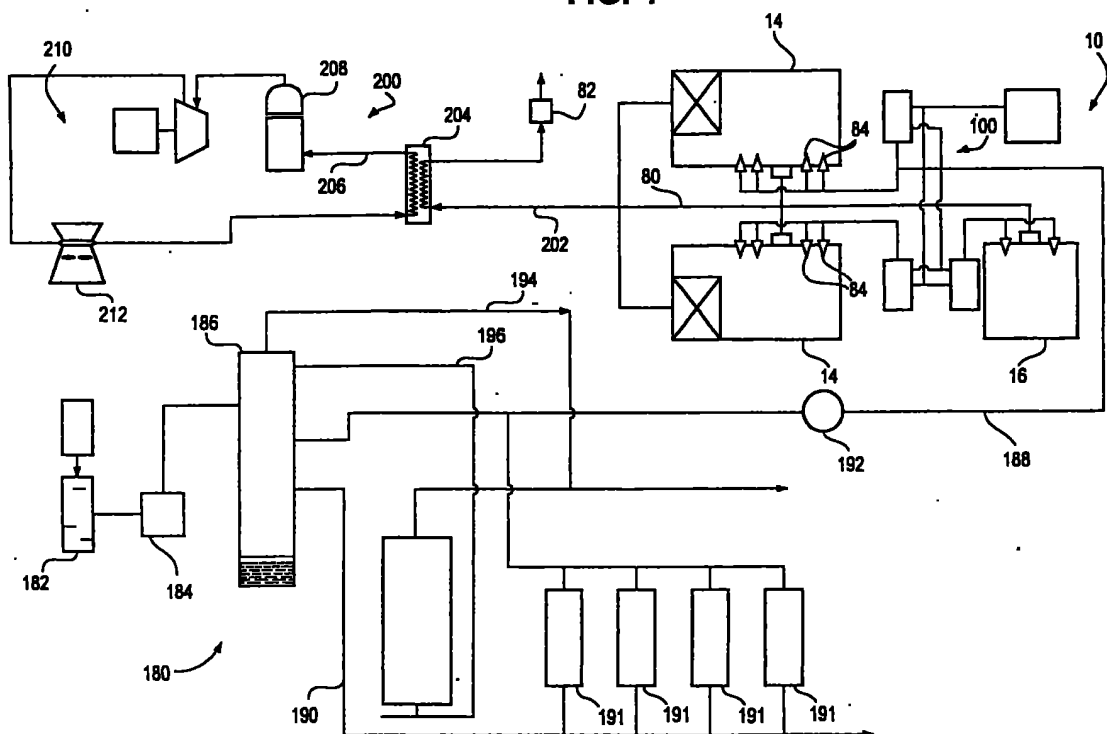
FIG. 3



3/11

370

FIG. 4



2/5

W/O 02/08/100

PCT/US02/08701

FIG. 5

72
371

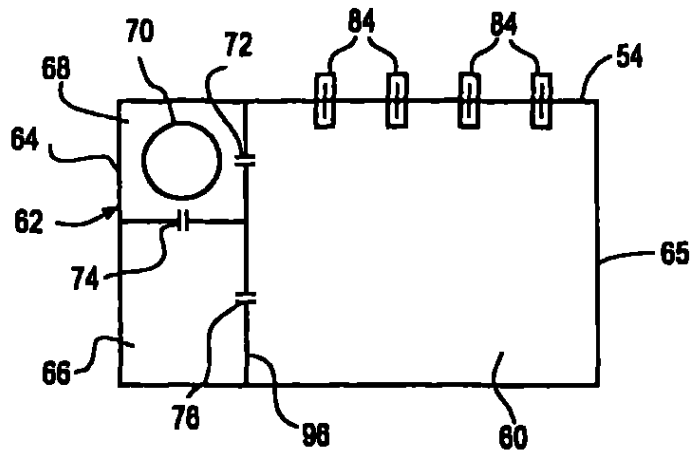


FIG. 6

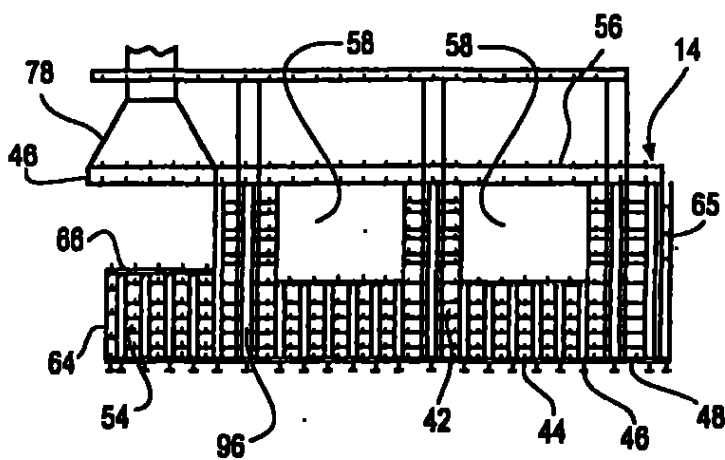


FIG. 7

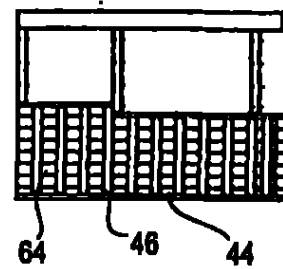


FIG. 8

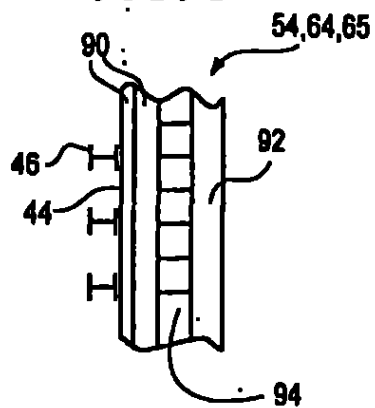
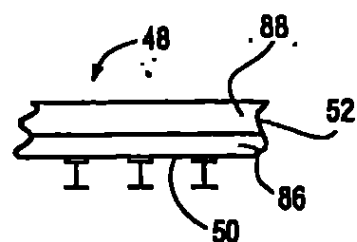


FIG. 9



73
372

FIG. 10

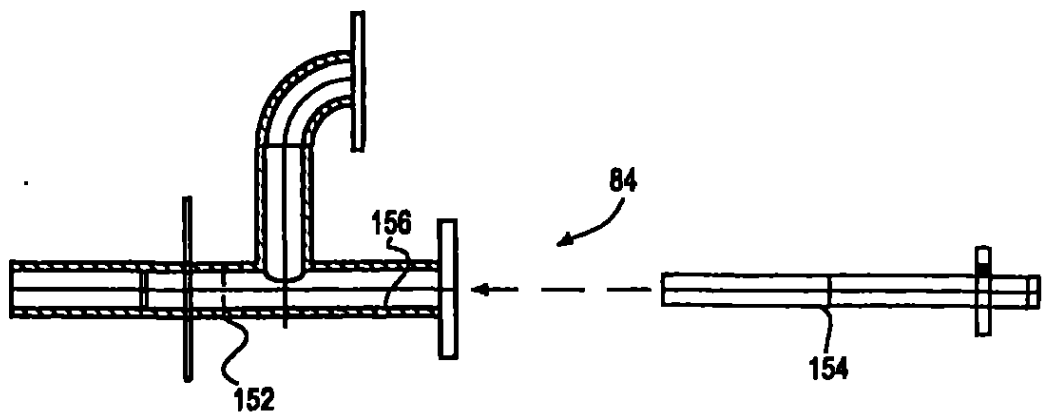
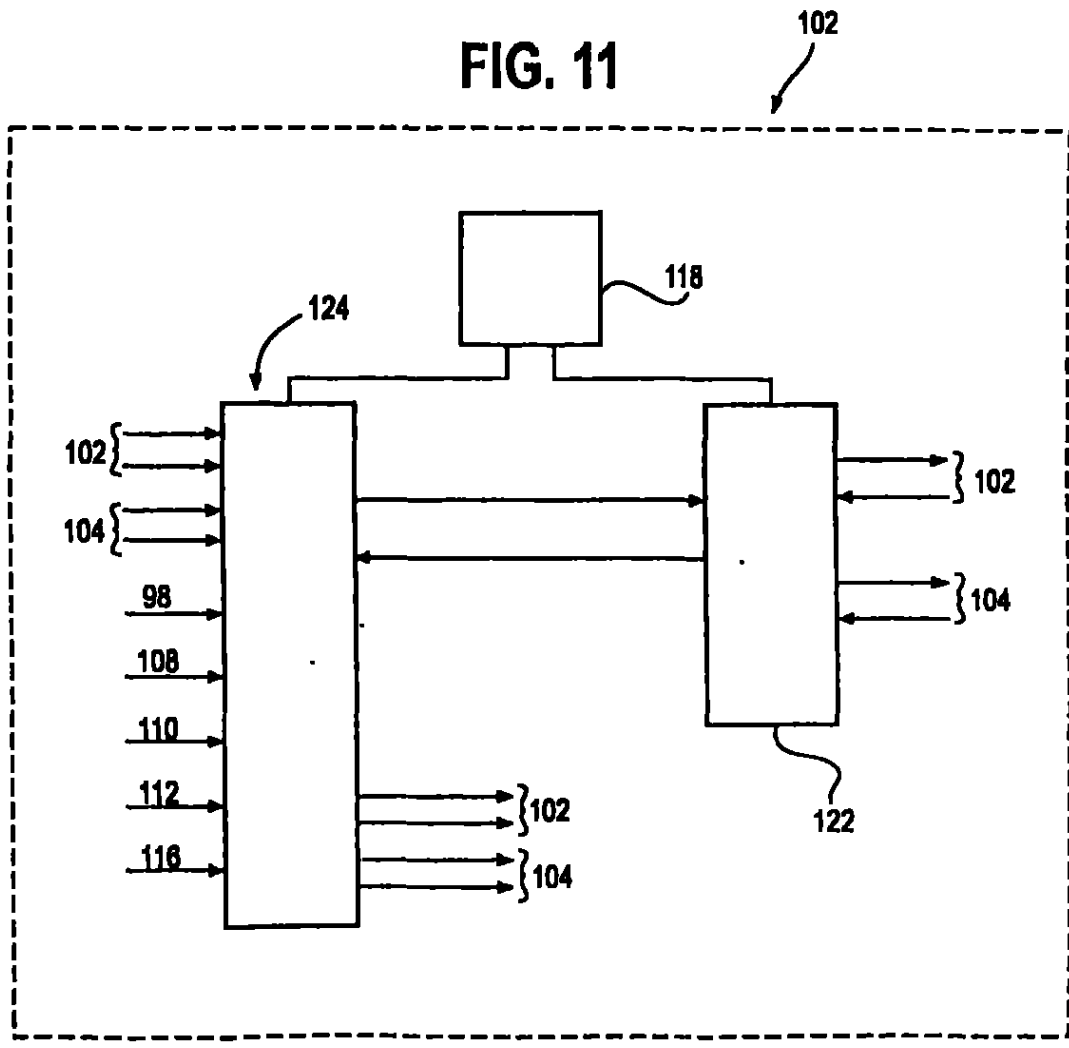


FIG. 11



(12) United States Patent
Gross

(10) Patent No.: US 6,797,228 B2

(45) **Date of Patent:** Sep. 28, 2004

(54) OXY-FUELED ALUMINUM RECOVERY METHOD

(75) Inventor: Dietrich M. Gross, Wilmette, IL (US)

(73) Assignee: Jupiter Oxygen Corp., Schiller Park, IL (US)

(*) **Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 54 days.

4,730,336	A	3/1988	Hernandez	
4,989,841	A	2/1991	Tokumitsu	
5,088,470	A	• 11/1997	Spod	266/87
5,871,343	A	2/1999	Bukal	
5,883,918	A	3/1999	Gubb	
5,904,475	A	• 5/1999	Ding	431/8
5,954,498	A	9/1999	Ioshi	
6,190,160	B1	2/2001	Hibon	
6,418,865	B2	7/2002	Marin	
6,436,337	B1	• 8/2002	Gross	266/242
6,596,220	B2	• 7/2003	Gross	266/44

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 0 962 540 A1 9/1998

* cited by examiner

Primary Examiner—Scott Kautler

(74) Attorney, Agent, or Firm—Welsh & Katz, Ltd.

(57) ABSTRACT

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having at least one burner, an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity, and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of 4500° F. The exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent and reduced green-house gases. Substantially less carbon based fuel is required than conventional combustion systems without a loss of energy output.

15 Claims, 5 Drawing Sheets

(21) Appl. No.: 10/161,183

(22) Filed: Jan. 3, 2002

(65) **Prior Publication Data**

US 2002/0190442 A1 Dec. 19, 2002

Related U.S. Application Data

(62) Division of application No. 09/843,679, filed on Apr. 27, 2001, now Pat. No. 6,436,337.

(51) Int. Cl.⁷ C21B 13/00

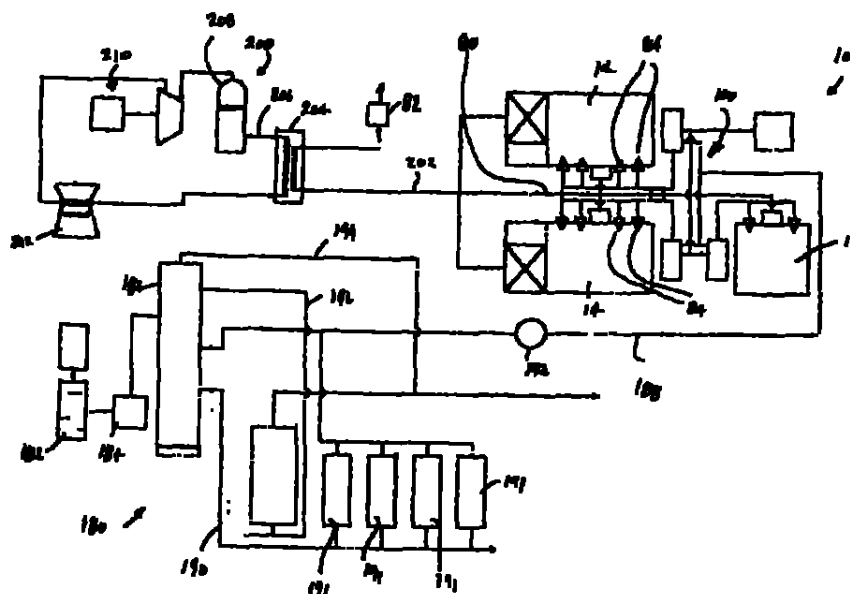
(S2) U.S. CI 266/44; 266/200; 266/242;
266/900; 266/901

(58) Field of Search 266/44, 900, 901,
266/200, 242

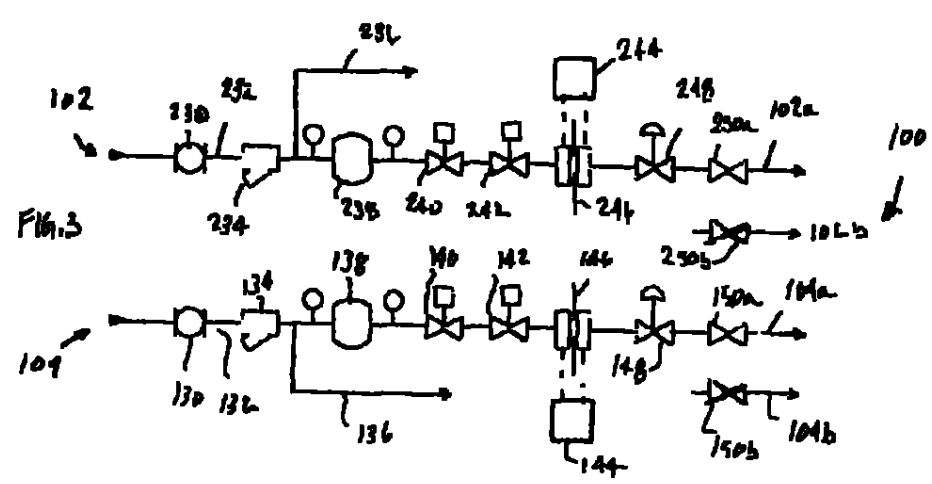
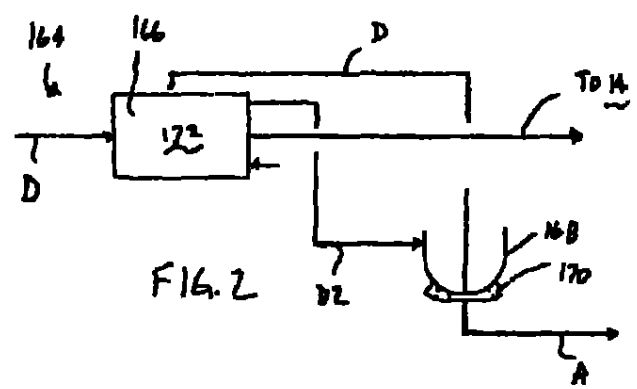
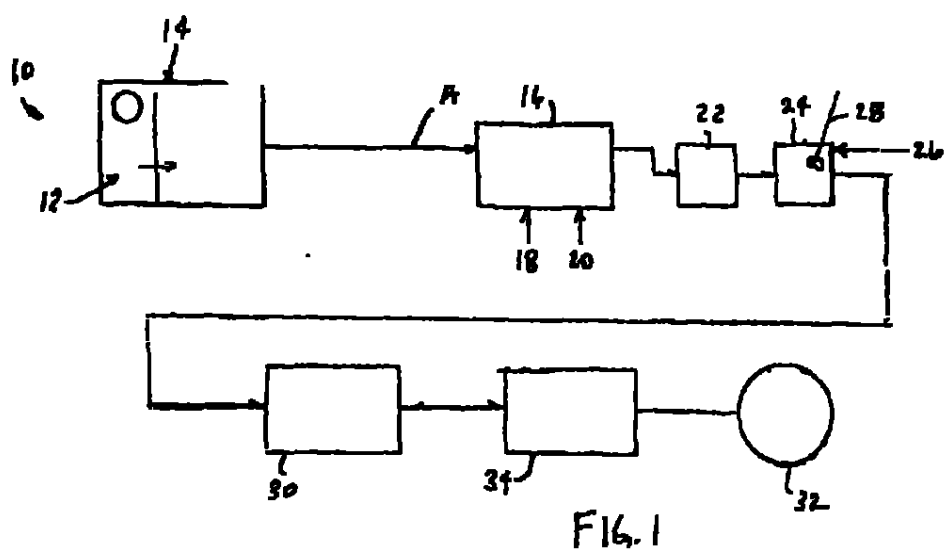
(56) **References Cited**

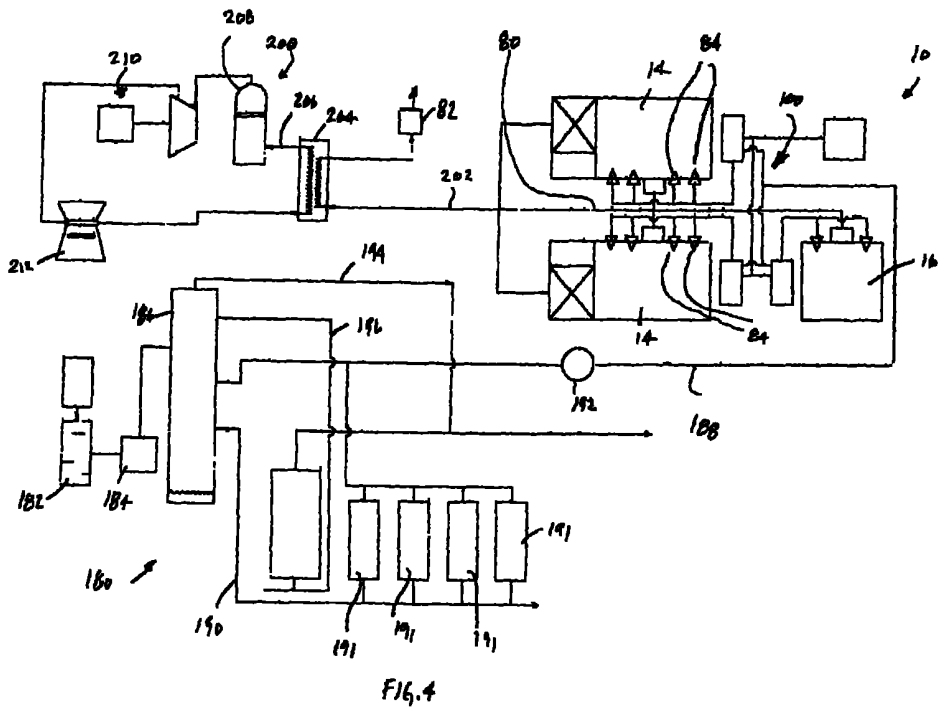
U.S. PATENT DOCUMENTS

3,547,624 A	12/1970	Gray
3,734,719 A	5/1973	Eates
3,904,180 A	9/1975	Bass
3,955,970 A	5/1976	Claxton
4,160,584 A	10/1979	Manselick



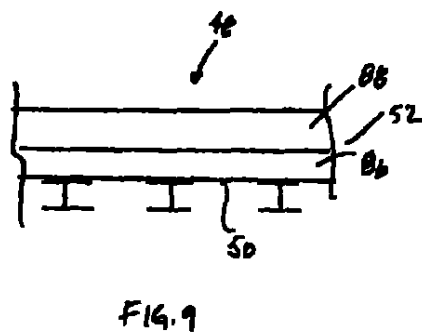
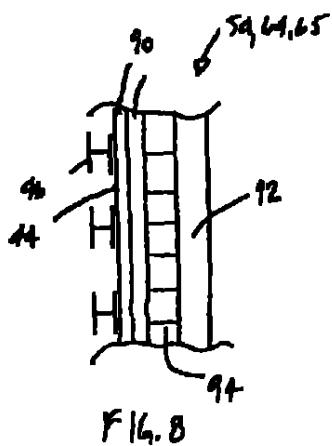
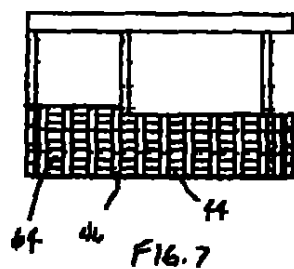
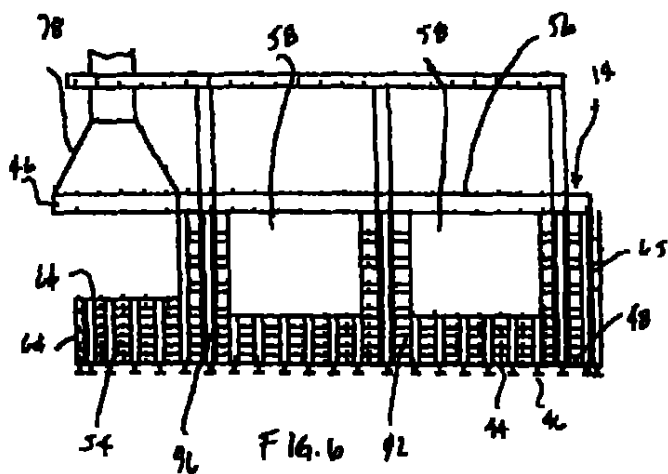
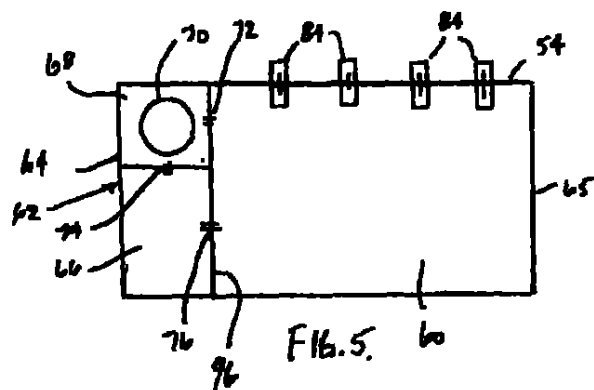
375





376

78
377



79
378

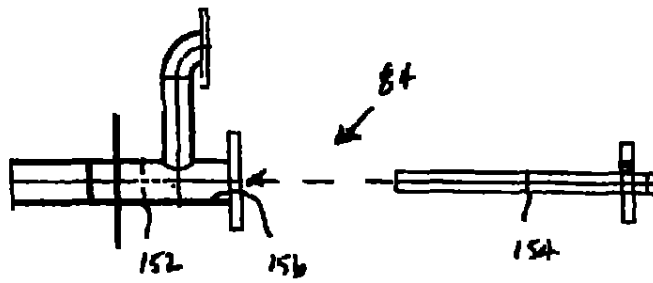


Fig. 10

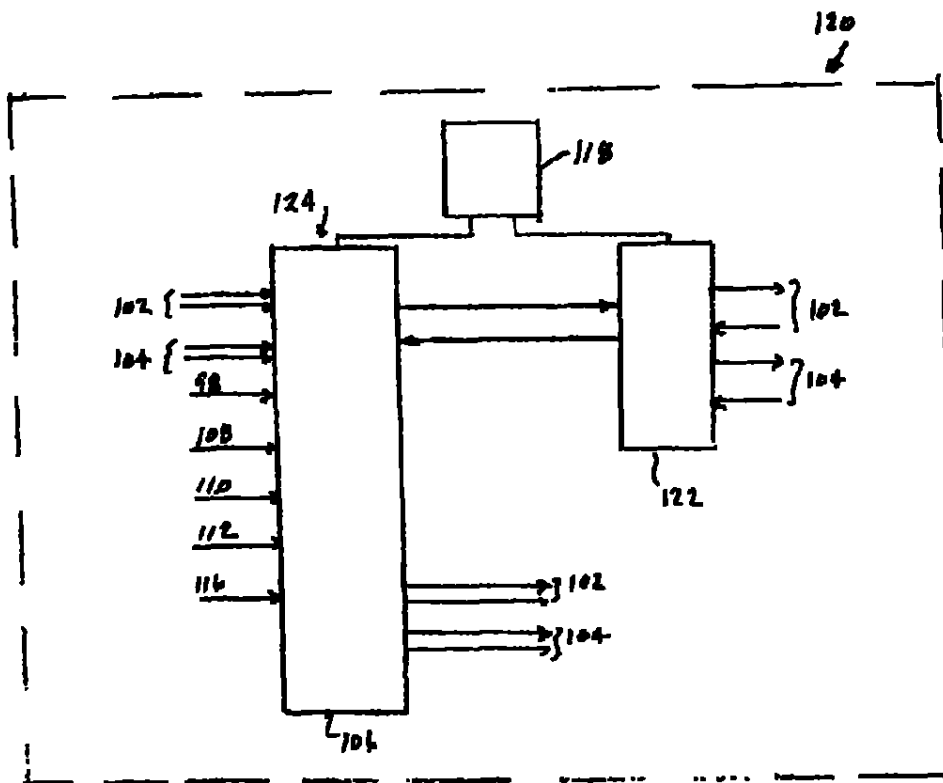


Fig. 11

81
380

1

OXY-FUELED ALUMINUM RECOVERY METHOD

CROSS REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application is a divisional application of U.S. patent application Ser. No. 09/843,679, filed Apr. 27, 2001, now U.S. Pat. No. 6,436,337.

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present invention pertains to an oxygen fueled combustion system. More particularly, the present invention pertains to an oxy-fueled combustion system in which the production of green-house gases is reduced and in which fossil fuel consumption is reduced.

Oxygen fueled burner systems are known, however, their use is quite limited. Oxy-fueled burner systems are generally only used in those applications in which extremely high flame temperatures are required. For example, these systems may be used in the glass making industry in order to achieve the temperatures necessary to melt silica to a fusion temperature. Otherwise, it is commonly accepted that structural and material limitations dictate the upper temperatures to which many industrial systems can be subjected. To this end, air fueled or air fired combustion systems are used in boilers, furnaces and the like throughout most every industrial application including manufacturing, electric power generating and other process applications.

In particular, air fueled combustion systems or electric heating systems are used throughout the steel and aluminum making industries, as well as the power generation industry, and other industries that rely upon carbon based fuels. In air fueled systems, air which is comprised of about 79% nitrogen and 21% oxygen, is fed, along with fuel into a furnace. The air fuel mixture is ignited creating a continuous flame. The flame transfers energy in the form of heat from the fuel air mixture into the furnace.

In the steel and aluminum industries, air fueled furnaces and electric furnaces have been used as the primary heat sources for creating molten metals. With respect to air fueled furnaces, it is conventionally accepted that the energy requirements, balanced against the thermal limitations of the process equipment, mandate or strongly support the use of these types of combustion systems. As to the use of electric furnaces in the aluminum industry, again, conventional wisdom supports this type of energy source to achieve the temperatures necessary for aluminum processing.

One drawback to the use of air fueled combustion systems, is that these systems produce NOx and other green-house gases such as carbon dioxide, sulfur dioxide and the like, as an inherent result of the combustion process. NOx and other green-house gases are a large contributor to environmental pollution, including, but not limited to acid rain. As such, the reduction in emission of NOx and other green-house gases is desirable, and as a result of regulatory restrictions, emission is greatly limited. To this end, various devices must be installed on these combustion systems in order to limit and/or reduce the levels of NOx and other green-house gases produced.

Another drawback with respect to air fueled furnaces is that much of the energy released from the combustion process is absorbed or used to heat the gaseous nitrogen present in the air that is fed to the furnace. This energy is essentially wasted in that the heated nitrogen gas is typically, merely exhausted from the heat source, e.g., furnace. To this

end, much of the energy costs are directed into the environment, through an off-gas stack or the like. Other drawbacks of the air fed combustion systems known will be recognized by skilled artisans.

Electric furnaces likewise have their drawbacks. For example, inherent in these systems as well is the need for a source of electricity that is available on a continuous basis, essentially without interruption. In that large amounts of electric power are required to operate electric furnaces, it is typically necessary to have these electric furnaces located in proximity to electric generating plants and/or large electrical transmission services. In addition, electric furnaces require a considerable amount of maintenance to assure that the furnaces are operated at or near optimum efficiency. Moreover, inherent in the use of electric furnaces is the inefficiency of converting a fuel into electrical power (most large fossil fueled power stations that use steam turbines operate at efficiencies of less than about 40 percent, and generally less than about 30 percent). In addition, these large fossil fueled stations produce extremely large quantities of NOx and other green-house gases.

For example, in the aluminum processing industry, and more specifically in the aluminum scrap recovery industry, conventional wisdom is that flame temperatures in furnaces should be maintained between about 2500° F. and 3000° F. This range is thought to achieve a balance between the energy necessary for providing sufficient heat for melting the scrap aluminum, and maintaining adequate metal temperatures in the molten bath at about 1450° F. Known furnaces utilize a design in which flame temperatures typically do not exceed 3000° F. to assure maintaining the structural integrity of these furnaces. That is, it is thought that exceeding these temperature limits can weaken the support structure of the furnace thus, possibly resulting in catastrophic accidents. In addition, stack temperatures for conventional furnaces are generally about 1600° F. Thus, the temperature differential between the flame and the exhaust is only about 1400° F. This results in inefficient energy usage for the combustion process.

It is also believed that heat losses and potential damage to equipment from furnaces in which flame temperatures exceed about 3000° F. far outweigh any operating efficiency that may be achieved by higher flame temperatures. Thus, again conventional wisdom fully supports the use of air fueled furnaces in which flame temperatures are at an upper limit of about 3000° F. (by flame stoichiometry) which assures furnace integrity and reduces energy losses.

Accordingly, there exists a need for a combustion system that provides the advantages of reducing environmental pollution (attributable to NOx and other green-house gases) while at the same time providing efficient energy use. Desirably, such a combustion system can be used in a wide variety of industrial applications, ranging from the power generating/utility industry to chemical processing industries, metal production and processing and the like. Such a combustion system can be used in metal, e.g., aluminum, processing applications in which the combustion system provides increased energy efficiency and pollution reduction. There also exists a need, specifically in the scrap aluminum processing industry for process equipment (specifically furnaces) that are designed and configured to withstand elevated flame temperatures associated with such an efficient combustion system and to increase energy efficiency and reduce pollution production.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having a controlled environment, and includes at least one

burner. The combustion system includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The present oxy fuel combustion system increases the efficiency of fuel consumed (i.e., requires less fuel), produces zero NO_x (other than from fuel-borne sources) and significantly less other green-house gases.

The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The combustion system preferably includes a control system for controlling the supply of carbon based fuel and for controlling the supply of oxygen to the furnace. In the control system, the supply of fuel follows the supply of oxygen to the furnace. The supply of oxygen and fuel is controlled by the predetermined molten aluminum temperature. In this arrangement, a sensor senses the temperature of the molten aluminum.

The carbon based fuel can be any type of fuel. In one embodiment, the fuel is a gas, such as natural gas, methane and the like. Alternately, the fuel is a solid fuel, such as coal or coal dust. Alternately still, the fuel is a liquid fuel, such as a fuel oil, including waste oils.

In one exemplary use, the combustion system is used in a scrap aluminum recovery system for recovering aluminum from scrap. Such a system includes a furnace for containing molten aluminum at a predetermined temperature, that has at least one burner. The recovery system includes an oxygen supply for supplying oxygen to the furnace through the combustion system. To achieve maximum efficiency, the oxygen supply has an oxygen purity of at least about 85 percent.

A carbon based fuel supply supplies a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

In such a recovery system, the combustion of oxygen and fuel creates energy that is used for recovering aluminum from the scrap at a rate of about 1083 BTU per pound of aluminum recovered. The fuel can be a gas, such as natural gas, or it can be a solid fuel or a liquid fuel.

In the recovery system, heat from the furnace can be recovered in a waste heat recovery system. The recovered heat can be converted to electrical energy.

In a most preferred system, the combustion system includes a system for providing oxygen. One such system separates air into oxygen and nitrogen, such as a cryogenic separation system. Other systems include membrane separation and the like. Oxygen can also be provided by the separation of water into oxygen and hydrogen. In such systems, the oxygen can be stored for use as needed. Other systems are known for oxygen generation/separation.

The oxygen fueled combustion system, generally, can be used with any furnace that has a controlled environment. That is, with any furnace that has substantially no in-leakage from an external environment. Such a combustion system

includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel.

The oxygen in the oxygen supply and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. In such a furnace, an exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds. That is, because there is no nitrogen fed in with the fuel, unless there is fuel-borne nitrogen, the exhaust gas contains substantially no nitrogen containing combustion products (i.e., NO_x), and significantly lowered levels of other green-house gases.

This combustion system can use any carbon based fuel including gas, such as natural gas or methane, any solid fuel such as coal or coal dust or any liquid fuel, such as oil, including waste and refined oils. In such a combustion system, any nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds are formed from the fuel-borne nitrogen.

A method for recovering aluminum from scrap includes feeding aluminum scrap into a melting furnace and combusting oxygen and a carbon based fuel in the furnace. In the combustion of the oxygen and fuel, the oxygen and fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The aluminum is melted in the furnace, contaminant laden aluminum is removed from the furnace and substantially pure molten aluminum is discharged from the furnace. The method can include the step of recovering aluminum from the contaminant laden aluminum, i.e., dross, and charging the recovered aluminum into the furnace.

The method can include recovering waste heat from the furnace. The waste heat recovered can be converted to electricity.

A furnace for recovering aluminum from scrap aluminum includes a bath region for containing molten aluminum at a predetermined temperature, and at least one burner. An oxygen supply supplies oxygen having a purity of at least about 85 percent and a carbon based fuel supply supplies fuel, such as natural gas, coal, oil and the like.

The oxygen in the oxygen supply and the fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace has a temperature of not more than about 1100° F.

In one embodiment, the furnace is formed from steel plate, steel beams and refractory materials. The furnace walls are configured having a steel beam and plate shell, at least one layer of a castable insulating material, at least one layer of a refractory brick, and at least one layer of a castable refractory material. The furnace floor is configured having a steel beam and plate shell and at least two layers of refractory material, at least one of the layers being a castable refractory material.

A salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum is also disclosed that includes the steps of introducing the dross-laden aluminum into a furnace. The furnace has an oxygen fuel combustion system producing a

82
381

flame temperature of about 5000° F., and having substantially no excess oxygen. The dross-laden aluminum melts within the furnace.

An upper portion of the melted dross-laden aluminum is skimmed to produce a heavily dross-laden product. The heavily dross-laden product is pressed in a mechanical press to separate the aluminum from the heavily dross-laden product to produce a concentrated heavily dross-laden product. The method can include the step of returning the concentrated heavily dross-laden product to the furnace. Introduction of the dross-laden aluminum into the furnace is carried out in near direct flame impingement to release the oxides from the dross.

These and other features and advantages of the present invention will be apparent from the following detailed description, in conjunction with the appended claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE SEVERAL VIEWS OF THE DRAWINGS

The benefits and advantages of the present invention will become more readily apparent to those of ordinary skill in the relevant art after reviewing the following detailed description and accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is an overall flow scheme of an exemplary aluminum scrap recovery process having a melting furnace with an oxygen fueled combustion system, in which green-house gas production and fuel consumption are reduced, embodying the principles of the present invention;

FIG. 2 is an overall flow scheme of a dross processing operation continued from FIG. 1 having a recovery furnace having an oxygen fueled combustion system embodying the principles of the present invention;

FIG. 3 is an exemplary natural gas supply train and oxygen supply train for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 4 is an overall plant scheme showing the oxygen supply, from a cryogenic plant, and flow to the furnaces, and further illustrating an exemplary waste heat recovery plant;

FIG. 5 is a schematic illustration of an aluminum melting furnace for use with an oxygen fueled combustion system in accordance with the principles of the present invention;

FIG. 6 is a side view of the furnace of FIG. 5;

FIG. 7 is a front view of the melting furnace of FIG. 6;

FIGS. 8 and 9 are partial cross-sectional illustrations of a side wall and the floor of the furnace, respectively;

FIG. 10 illustrates a burner assembly for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 11 is a schematic illustrations of an exemplary control system for use with an oxygen fueled combustion system of the present invention

FIG. 12 is a schematic view of an exemplary power boiler or furnace front wall illustrating a burner and an air feed arrangement, and showing the incorporation of an oxy fuel combustion system therein embodying the principles of the present invention; and

FIG. 13 is a schematic illustration of a waste incinerator showing the incorporation therein of an oxy fuel combustion system embodying the principles of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

While the present invention is susceptible of embodiment in various forms, there is shown in the drawings and will hereinafter be described a presently preferred embodiment

with the understanding that the present disclosure is to be considered an exemplification of the invention and is not intended to limit the invention to the specific embodiment illustrated. It should be further understood that the title of this section of this specification, namely, "Detailed Description Of The Invention", relates to a requirement of the United States Patent Office, and does not imply, nor should be inferred to limit the subject matter disclosed herein.

An oxy-fuel combustion system uses essentially pure oxygen, in combination with a fuel source to produce heat, by flame production (i.e., combustion), in an efficient, environmentally non-adverse manner. Oxygen, which is supplied by an oxidizing agent, in concentrations of about 85 percent to about 99+ percent can be used, however, it is preferable to have oxygen concentration (i.e., oxygen supply purity) as high as possible. In such a system, high-purity oxygen is fed, along with the fuel source in stoichiometric proportions, into a burner in a furnace. The oxygen and fuel is ignited to release the energy stored in the fuel. For purposes of the present disclosure, reference to furnace is to be broadly interpreted to include any industrial or commercial heat generator that combusts fossil (carbon-based) fuels. In a preferred system, oxygen concentration or purity is as high as practicable to reduce green-house gas production.

It is contemplated that essentially any fuel source can be used. For example, in a present application, as will be described in more detail below, oxygen is fed along with natural gas, for combustion in a furnace. Other fuel sources contemplated include oils including refined as well as waste oils, wood, coal, coal dust, refuse (garbage waste) and the like. Those skilled in the art will recognize the myriad fuel sources that can be used with the present oxy-fuel system.

The present system departs from conventional processes in two principal areas. First, conventional combustion processes use air (as an oxidizing agent to supply oxygen), rather than essentially pure oxygen, for combustion. The oxygen component of air (about 21 percent) is used in combustion, while the remaining components (essentially nitrogen) are heated in and exhausted from the furnace. Second, the present process uses oxygen in a stoichiometric proportion to the fuel. That is, only enough oxygen is fed in proportion to the fuel to assure complete combustion of the fuel. Thus, no "excess" oxygen is fed into the combustion system.

Many advantages and benefits are achieved using the present combustion system. It has been observed, as will be described below, that fuel consumption, to produce an equivalent amount of power or heat is reduced, in certain applications, by as much as 70 percent. Significantly, this can provide for a tremendous reduction in the amount of pollution that results. Again, in certain applications, the emission of NOx can be reduced to essentially zero, and the emission of other green-house gases reduced by as much as about 70 percent over conventional air-fueled combustion systems.

An Exemplary Scrap Aluminum Recovery Process

In one specific use, the oxygen fueled combustion system (also referred to as oxy-fuel or oxy-fueled) is used in a scrap aluminum recovery plant 10. A flow process for an exemplary plant is illustrated in FIGS. 1-2. Scrap aluminum, generally indicated at 12 is fed into a melting furnace 14, and is liquefied. The plant 10 can include multiple furnaces operated in parallel 14, one of which is illustrated. The liquefied or molten aluminum is drawn from the melting furnace 14 and is fed into a smaller holding furnace or holder 16. The holding furnace 16 is also an oxy-fueled furnace. The molten aluminum is drawn from the melting furnace 14

83
382

as necessary, to maintain a certain, predetermined level in the holding furnace 16. This can result in continuously drawing down from the melting furnace 14 or drawing down in "batches" as required.

In the holding furnace 16, chlorine and nitrogen (as gas), as indicated at 18 and 20, respectively, are fed into the holding furnace 16 to facilitate drawing the impurities from the molten aluminum. The chlorine and nitrogen function as a gaseous fluxing agent to draw the impurities from the aluminum. This can also be carried out in the melting furnaces 14 to increase cleaning of oily and dirty scrap. Other contemplated fluxing agents include gaseous argon hexafluoride. The holder 16 is actively heated and operates at a molten metal temperature of about 1300° F. The air temperature in the holder 16 is slightly higher.

The molten aluminum is then filtered. Presently, a bag-type particulate filter 22 is used. However, other types of filters are known and can be used. The filtered, molten aluminum is then fed through a degasser 24.

In the degasser 24, a fluxing agent, such as an inert gas (again, nitrogen is used, as indicated at 26) is fed into the molten aluminum. The molten aluminum is agitated, such as by a mechanical stirrer 28 and the fluxing agent 26 bubbles up through the molten aluminum to draw impurities (e.g., oxides) from the aluminum.

The molten aluminum is then fed into an in-line caster 30. In the caster 30, the aluminum is cast into continuous plate. The cast thickness can be any where from 0.010 inches up to 0.750 inches or more. The aluminum can then be rolled into a coil, as indicated at 32, for use or further processing. In a present method, the aluminum proceeds from the caster 30 through a pair of hot milling machines 34 where the plate is milled to a final thickness or gauge, presently about 0.082 inches (82 mils) and is then rolled to form the coil 32. Those skilled in the art will understand and appreciate the various casting and finishing processes that can be carried out on the metal. All such forming and finishing processes are within the scope and spirit of the present invention.

Returning to the melting furnace 14, as stated above, it is an oxy-fuel furnace. It is fed with a carbon based fuel, such as natural gas, in stoichiometric proportion with oxygen. This is unlike known furnaces which use fuel and air mixtures. The fuel/air mixtures feed nitrogen as well as oxygen into the furnace to support the combustion process. This results in the production of undesirable NOx off-gases. In addition, the nitrogen also absorbs energy from the molten aluminum, thus reducing the overall efficiency of the process. That is, because the percentage of nitrogen in air is so great, a large amount of energy goes into heating the nitrogen rather than the aluminum.

The oxygen/natural gas proportions in the present melting and holding furnaces 14, 16 are about 2.36:1. This ratio will vary depending upon the purity of the oxygen supply and the nature of the fuel. For example, under perfect conditions of 100 percent pure oxygen, the ratio is theoretically calculated to be 2.056:1. However, the oxygen supply can have up to about 15 percent non-oxygen constituents and natural gas is not always 100 percent pure. As such, those skilled in the art will appreciate and understand that the ratios may vary slightly, but the basis for calculating the ratios, that is stoichiometric proportions of fuel and oxygen, remains true.

This proportion of oxygen to fuel provides a number of advantages. First, this stoichiometry provides complete combustion of the fuel, thus resulting in less carbon monoxide, NOx and other noxious off-gas emissions (other greenhouse gases generally). In addition, the controlled oxygen proportions also reduce the amount of oxides present

in the molten aluminum. This, in turn, provides a higher quality final aluminum product, and less processing to remove these undesirable oxide contaminants.

It is important to note that accurately controlling the ratio of oxygen to fuel assures complete burn of the fuel. This is in stark contrast to, for example, fossil fueled power plants (e.g., utility power plants), that struggle with LOI (loss on ignition). Essentially, LOI equates to an incomplete burn of the fuel. In the present method, on the other hand, substantially pure oxygen, in tightly controlled stoichiometric proportion to the fuel, minimizes and possibly eliminates these losses. In addition, in the present method, the only theoretical NOx available is from fuel-borne NOx, rather than that which could otherwise result from combustion using air. Thus, NOx, if not completely eliminated is reduced to an insignificant amount compared to conventional combustion systems.

Oxides in aluminum come from two major sources. First, from the combustion process; second, from oxides that reside in the aluminum. This is particularly so with poor grade scrap or primary metal. The present process takes into consideration both of these sources of oxides and reduces or eliminates their impact on the final aluminum product. First, the present process reduces oxides that could form as a result of the oxygen fed for the combustion of the fuel. This is achieved by tightly controlling oxygen feed to only that necessary by stoichiometric proportion for complete combustion of the fuel.

The present process takes into consideration the second sources of oxides (that residing in the aluminum), and removes these oxides by virtue of the degassing and filtering processes. The benefits are two fold. The first is that less byproduct in the form of dross D is formed; second, the quality of the finished product is greatly enhanced.

It has also been found that using a fuel/oxygen mixture (again, rather than a fuel/air mixture) results in higher flame temperatures in the melting furnace. Using oxy-fuel, flame temperatures in the furnace of about 5000° F. are achieved. This is higher, by about 1500° F. to 2000° F., than other, known furnaces. It has also been observed that using oxy-fuel, in conjunction with these higher flame temperatures, results in an extremely highly efficient process. In one measure of efficiency, the energy required (in BTU) per pound of processed aluminum is measured. In a known process, the energy required is about 3620 BTU/lb of processed product. In the present process and apparatus, the energy requirements are considerably less, about 1083 BTU/lb of metal processed. It should also be noted that although the "fuel" discussed above in reference to the present method is natural gas, any organic based fuel, such as oil (including waste oil), coal, coal dust and the like can be used.

For purposes of understanding the thermodynamics of the process, the theoretical energy required to melt a pound of aluminum is 504 BTUs. However, because specific process inefficiencies are inherent, the actual energy required was found to be about 3620 BTU/lb when using an air fired combustion system. These inefficiencies include, for example, actual processing periods being less than the actual time that the furnace is "fired", and other downstream process changes, such as caster width increases or decreases. In addition, other "losses" such as stack (heat) losses, and heat losses through the furnace walls, add to this energy difference.

Moreover, the value of 1083 BTU/lb is an average energy requirement, even taking into account these "losses". It has been found that when the process is running at a high

84
383

efficiency rate, that is when aluminum is processed almost continuously, rather than keeping the furnace "fired" without processing, the "average" energy requirement can be reduced to about 750BTU/lb to 900BTU/lb.

The Making Furnace

A present melting furnace 14 is constructed primarily of steel and refractory materials. Referring to FIGS. 5-9, the furnace shell 42 has outside dimensions of about 20 feet in width by 40 feet in length by 12 feet in height. The steel shell structure 42 is formed from plates and beams. Plates and beams will be identified through as 44 and 46, respectively, for the furnace shell 42 structure, except as indicated. The floor 48 is fabricated from one-inch thick plate 44 steel that is welded together. Each weld is above a beam 46 to assure the integrity of the furnace shell 42.

Additional beams 46 are provided for furnace floor 48 support. Each beam 46 provides an 8 inch wide flange about every 18 inches on center. All of the beams 46 (exclusive of the joining beams which are completely seam welded) are stitched to the bottom plate 50. This permits "growth" in the steel due to thermal expansion during heating.

The beams 46 provide support and rigidity to the furnace bottom 52. The beams 46 maintain the furnace 14 rigid to reduce flexing during installation of the refractory and long-term use. The beams 46 also provide support so that during operation of the furnace 14 the mechanical loading on the refractory materials is minimized. The beams 46 also elevate the furnace bottom 52 from the floor on which the furnace 14 is mounted. This allows heat, which builds up under the furnace 14, to escape.

The furnace side walls 54 are likewise made of a steel plate and beam construction. Two wall regions are recognized, above metal line and below metal line. This distinction is made for both strength and thermal value considerations.

Below metal line, the plate is $\frac{3}{4}$ inch thick. Above metal line, the plate is $\frac{1}{2}$ inch thick. In the present furnace, the first eight feet are considered (for design purposes) below metal line and the upper four feet are considered (for design purposes) above metal line.

Beams 46 are used to support the side walls 54 of the furnace 14. The beams 46 are set on 18 inch centerlines running vertically along the furnace 14. Horizontal beams 46 are placed at 18 inch centers below metal line and 24 inch centers above metal line. Although the metal line in the furnace 14 varies, it is, for design considerations, the highest level of metal that will be in the furnace 14 during normal operation. Additional factors may be considered, in which, for example, the metal line can be assumed to be nine inches above the maximum fill line of the furnace 14.

The roof 56 of the furnace 14 is a hanging refractory design. Beams 46 are on 18 inch centers along the width of the furnace 14. Additional beams 46 are welded to beams extending across the width, which additional beams are oriented along the length of the furnace 14. Clips are mounted to the beams, to which precast refractory blocks are mounted.

The furnace 14 has two main doors 58 on the furnace side 54. The doors 58 are used during operation for skimming or cleaning the main furnace heat chamber or bath area 60 and for main furnace chamber 60 charging. Dross D (the contaminant slag that forms on the surface of molten aluminum) builds up inside the furnace 14 and must be cleaned out at least once a day to maintain heat transfer rates. The dross D is removed by opening the doors 58 and skimming the surface of the molten metal pool.

Although during typical operation, metal or scrap is placed in the charge well 62, and is subsequently melted and

transferred to the furnace heat chamber 60, some types of scrap, such as sows or ingot, are better placed directly in the main heat chamber 60. The doors 58 can be opened to transfer these types of loads to the heat chamber 60.

The doors 60 are of steel and refractory construction. The doors 60 are hung on a mechanical pulley system (not shown) and are protected by safety chains to prevent them from falling to the ground in the event that the pulley system fails. Powered winches are used to operate the doors. The doors 60 are hung from a common cross member, which is supported from the side 54 of the furnace 14.

The main charge well 62 is located on the front 64 of the furnace 14. The well 62 is partitioned from the furnace heat chamber 60 and is partitioned into two areas: a charging area 66; and a circulation pump area 68. A circulation pump 70 circulates metal from the hot pool of molten aluminum in the main chamber 60 to the scrap charging area 62.

There are three openings, indicated at 72, 74 and 76, between the chambers 60, 66 and 68. The first opening 72 is in the partition between the main chamber 60 and the pump well 68. The second opening 74 is in the partition between the pump well 68 and the scrap charging area 66. The third opening 76 is in the partition between the charge well 66 and the main heat chamber 60.

All of the openings 72, 74 and 76 are about one foot below the physical or actual metal line of the furnace 14. The openings 72, 74 and 76 are below metal line to maintain the heat inside the main chamber 60, and to prevent the flow of oxides between the partitioned areas of the furnace 14 and to maintain the furnace air-tight (i.e., maintain a controlled environment within the furnace 14). The pump 70 is located in an elevated area to prevent excessive furnace garbage, rocks and dross from accumulating in and around the pump 70.

An exhaust hood 78 is positioned above the charge chamber 66. The hood 78 is fabricated from steel and is mounted on beams 46 similar to those from which the side walls 54 are fabricated. The beams 46 are positioned on a plate that covers the side wall of the well, essentially capping it off. The hood 78 vents the main furnace chamber 60 through a stack 80 (see FIG. 4). The stack 80 exhausts gases from the furnace 14 and can be closed off to maintain pressure in the furnace 14.

Exhaust gases exit the furnace 14 and flow to a baghouse 82 (FIG. 4). The baghouse 82 is used primarily for collection of unburned carbon from paints, oils, solvents and the like inherent in scrap aluminum processing.

The furnace 14 includes four oxy-fuel burners 84. The burners 84 are installed on a side wall 54 of the furnace 14, opposite the doors 58. Steel is constructed surrounding the burners 84 to allow for mounting the burners 84 and maintaining the surrounding wall rigid.

The furnace 14 is lined with refractory materials. The floor 48 is fabricated from two different refractory materials. The first material 86 is a poured slab, about six inches thick, of a high strength, castable refractory, such as AP Green KS-4, that forms a sub hearth. A floor material 88 is poured above the sub hearth 86 in monolithic fashion having a thickness of about thirteen to fourteen inches. The floor material 88 is an AP Green 70AR refractory. It is a 70 percent alumina, aluminum resistant castable refractory.

The walls 54, 64 and 65 are fabricated from two layers of insulation 90 followed by the 70 AR castable or monolithic, phosphate bonded 85 percent alumina (MONO P85) plastic ramming refractory 92. The alumina content of this material is 85 percent. The backing insulation 90 is insulating board, about two inches thick in the side walls 54 of the furnace and

85
384

86
385

about three inches thick on the front and rear walls 64, 65 of the furnace. The difference in insulation 90 thickness is to accommodate thermal expansion of the furnace 14. The furnace walls 54, 64 and 65 will grow about 1/4 inch per linear foot. Thus, the furnace 14 will grow (along the 40 foot length) a total of about 5 inches. In that there is six inches of backing insulation 90 (each the front and rear has three inches), the insulation 90 will crush and allow for growth in the furnace walls 54, 64 and 65 without damaging the furnace shell 43.

Insulating brick 94 is positioned between the crushable insulation board 90 and the cast refractory 92. The roof 56 is fabricated from 70 percent alumina castable refractory. The material is poured into six roof sections. Each door 58 frame is fabricated from 70 percent alumina AR refractory.

The furnace 14 has two sets of tap out blocks (not shown). The first set is positioned on the bottom 52 of the furnace and serve as drain blocks. A second set of blocks is positioned sixteen inches from the floor of the furnace and serves as a transfer set of blocks. The transfer blocks are set on the outside of the furnace for ease of replacement. The inside of the furnace is formed and the blocks are set on the outside and keyed in with a plastic ram.

There are two ramps (not shown) in the furnace, one at each of the main charge doors 58. The ramps are used for deslagging or skimming dross D from the molten metal and for allowing scrap aluminum to slide into the furnace. The ramps are composed of two materials. The base is a low grade aluminum resistant brick, stacked to form a ramp. The brick is covered with a castable refractory (about 18 inches thick), such as the 70AR material. The ramp extends from the edge of the sill into the furnace.

The wall 96 that separates the main furnace chamber 60 and the charge well 62 is about 22 inches thick and is formed from 70AR material. The wall 96 is cast as a single monolithic structure.

The furnace 14 can operate in several modes from empty to holding and maintaining molten aluminum. When the furnace 14 is at peak operation it is about 80 percent to 90 percent full. The molten metal is at about 1400° F. and the air temperature in the furnace is about 1800° F. The stack (exhaust) temperature is about 1000° F. Air temperature is measured by a thermocouple 98 in the upper side wall 54 of the furnace 14. Metal temperature is measured at the base of the circulating pump 70.

Scrap is charged or introduced to the furnace in the charge well 62 in increments of about 3,000 pounds. It will be understood that the size or weight of the introduced scrap will vary depending upon the size and capacity of the furnace 14.

Molten metal from the main chamber 60 is pumped onto the cool metal charge by the circulation pump 70. The molten metal transfers heat, by conductivity, to the cold metal charge. The charge metal rapidly heats and melts.

The primary mode of heat transfer to the charged aluminum is by conduction. The large heat sink provided by the full furnace enhances this effective method of heat transfer. When the furnace is 80 percent to 90 percent of capacity there is about 220,000 pounds of molten aluminum at about 1400° F. When scrap is charged into the furnace 14 the bath acts as a heat sink and provides the necessary energy for heat transfer to the charged metal. This is true regardless of the dimensions and capacity of the furnace, as adapted to the present oxy-fuel combustion system. The circulating pump 70 assists melt of the scrap by providing hot molten metal to the charge well 62 from the main furnace chamber 60. In addition, by circulating the molten metal, heat stratification throughout the furnace 14 is maintained low.

It has been found that by pumping or circulating the molten metal, the temperature differential between the top and the bottom of the furnace 14 (a height difference of about 42 inches) is only a few degrees Fahrenheit. Thus, the furnace 14 acts as a stable heat sink to provide a consistent heat source for conduction heat transfer to the charge metal.

Heat is input to the furnace 14 by the burners 84. It is believed that the principal mode of heat transfer to the furnace 14 is radiation, with some convective heat transfer.

Because of the high flame temperatures, the oxy fuel combustion system provides efficient radiative heat transfer. The geometry of the furnace 14 is further designed to increase the heat transfer rate by maximizing the metal surface area over which heat transfer from the flame to the metal occurs.

In addition, the refractory materials above the metal line are made of a high alumina content material. These materials reflect the heat from the burners back into the molten metal. This is in contrast to conventional furnace designs which, rather than reflecting heat back into the molten metal pool, permit much of the heat to escape from the furnace.

For example, traditional furnaces use refractories that have a lower alumina content and a higher insulation value on the upper side walls. The present design, on the other hand, uses higher alumina content refractories in order to reflect more of the radiative heat from the burners 84 to the bath area 60. Again, this is contrary to conventional furnace design. In traditional furnaces the lower side walls (defined as below metal line) use higher alumina refractories for strength. In contrast, the present design uses a lower alumina castable refractory, which is more advanced and has a higher insulating value. In a sense the present design goes completely against the traditional application of refractories.

Moreover, because there is no nitrogen fed to the furnace 14 (other than fuel-borne nitrogen) the volume of hot gases (e.g., exhaust) going through the furnace 14 is very low. Advantageously, this increases the residence time of the gases in the furnace 14 providing additional opportunity for heat transfer to the molten metal. Convective heat transfer, while relatively low, is more efficient than in conventional furnaces. In that the hot gases in the present furnace 14 approach 3000° F. and have a relatively long residence time, much of the heat is removed prior to exhaust.

A present furnace 14 operates at an energy input required to melt of about 1083 BTU per pound. The maximum heat input to the furnace 14 is about 40 million BTU (40 MMBTU) per hour, and typical heat input is about 10 to 12 MMBTU per hour. The heat input will, of course, depend upon the scrap being melted and the production requirements. The furnace is capable of melting up to 40,000 pounds per hour.

The Combustion System

The combustion system, indicated in FIG. 3, generally at 100, is a dual combustion train that operates on a fuel, such as natural gas, fuel oil, waste oil, coal (pulverized, dust and liquefied), and an oxygen source. The system is designed as two complete combustion systems to facilitate maintenance, as well as to conserve energy during low use periods. One oxygen train 102 and one exemplary natural gas fuel train 104 are shown in FIG. 3.

The combustion system 100 is controlled by a control system (illustrated in FIG. 11, indicated generally at 120) that includes a central processing unit ("CPU") 106 that monitors all data inputs from metal temperature, air temperature, fuel and oxygen flow, and provides an operator interface. Each combustion train can be operated individually or in tandem based on operating conditions and requirements.

The main process input variable used to control the combustion system 100 is the metal bath temperature as measured by a thermocouple 108. Alternative process input variables include signals from one of several air temperature sensors 98, 110. The control scheme includes inputs from thermocouples (type K) located in the furnace upper wall, exhaust stack and furnace roof, indicated generally as inputs 112. The primary thermocouple 108 is located in the molten metal bath are 60. The air thermocouples 112 are sheathed with alumina or like materials to protect the measuring element from the atmosphere. The bath thermocouple 108 is protected from molten metal by a ceramic sheath that is resistant to heat and to the corrosive conditions found in molten metal. The bath thermocouple 108 is configured to signal initiation of the burner system only when the metal bath temperature falls below a preset level.

The stack thermocouple or the roof thermocouple 116 is designed for over temperature protection. This thermocouple 116 is connected to an over-temperature circuit that shuts down the combustion trains 102, 104 to protect the refractory and furnace 14 structure in the event that an over temperature limit is reached.

The upper wall thermocouple 98 is primarily used to monitor the furnace 14 air temperature. It can also be used to operate the furnace 14 in the absence of the molten bath thermocouple 108. The upper wall thermocouple 112 is also used as the process input variable when metal is first being charged in the furnace 14 or when the level of molten metal drops below the molten bath thermocouple 108.

An operator has full control over individual temperature set points. A control panel 118 includes temperature indicators for all of the thermocouples 92, 108, 110, 112, 114, 116. The operator can adjust such thermocouple set point until operation limits are achieved. The operational set point limits can be internally set within the CPU so that any desired temperature range can be established.

The combustion system control system 120 is configured in two parts. The first part 122 includes hard wired safety devices, such as relays, limit switches and the like, as will be recognized by those skilled in the art. These include all gas pressure switches, shut off and blocking valves, and flame detectors. The second part 124 of the control system 120 is monitoring and automatic control functions carried out by the CPU 106.

The gas trains 104 are configured in pairs so that one train can be in service while the other is out of service for, for example, maintenance or low-load/use periods. Each gas train 104 is appropriately sized vis-à-vis oxygen flow requirements. Each gas train 104 commences at a ball-type shut off valve 130. Piping 132 routes the gas through a strainer 134 to remove any debris present in the line. A gas pilot line 136 extends from the piping 132 after the strainer 134.

A backpressure regulator 138 is used to lower the header pressure. Presently, the oxygen pressure is set at about 18 pounds per square inch (psig). A shut off valve 140 and safety valves 142 follow in line. A differential pressure flow meter 144 is located downstream of the safety valves 142. The flow meter 144 measures the temperature and differential pressure of the gas as it flows through an orifice 146. A present flow meter 144 is a Rosemount model 3095 differential pressure flow meter.

Through these measurements a flow rate is determined and a signal is transmitted to the control system 120. A control valve 148 is in line following the flow meter 144. In a present arrangement, a modulating control valve is used that receives an output signal from the control system 120.

The valve 148 transmits a signal to the control system 120, and specifically, the CPU 106, indicating the actual valve 148 position.

The gas train 104 then splits into two separate lines 104a,b each having a valve 150a,b. The valves 150a,b are used to balance each burner 84 so that the gas flow is evenly distributed.

The oxygen train 102 is similar to the gas train 104, except that the line sizes and components are larger to accommodate the larger flow rate of oxygen. An exemplary oxygen train 102 is illustrated in FIG. 3, in which those components corresponding to fuel train 104 components are indicated by 200 series number identifiers.

Referring to FIG. 10, the burners 84 are a fairly straight forward design. Each of the four burners 84 includes a main inlet nozzle body 152 that extends into the furnace 14. A fuel gas inlet 154 extends to the main inlet body 152 external of the furnace wall 54. Oxygen is input to the main inlet nozzle body 152 and mixes with the fuel gas. An igniter (not shown) extends through a central opening 156 in the main inlet body 152. The igniter provides a spark for ignition of the fuel/oxygen mixture.

Operation of the combustion system 100 is readily carried out by a combination of operated initiated action and automatic control by the CPU 106. Power is provided to the system controls which enables the CPU 106 and the hard-wired safeties portion 122 of the control system 120. The CPU 106 initiates communication with the control valves, thermocouples, and relays that are part of the hard-wired safeties portion 122. The gas and oxygen pressure switches are of a dual hi/low switch design. The low-pressure switch is a normally closed signal while the high-pressure side is a normally open signal. The CPU 106 determines whether a the proper signal is present and allows the program to continue. If an improper signal is recognized, audible and visual alarms are actuated. The control scheme also monitors whether the gas and oxygen control valves 148, 248 are in the "low-fire" position. If the control valves 148, 248 are in the proper position, a signal is transmitted that allows the control system 120 to continue the startup procedure. An over-temperature signal must also be clear to allow the system 120 to continue through the start up procedure.

When all of the startup conditions are met, a nitrogen purge cycle is initiated. Nitrogen is used to purge the furnace 14 of any combustible gases that may be remaining in the furnace 14. The nitrogen purge is timed so that the volume of nitrogen through the furnace 14 is about 2.5 times the volume of the furnace 14.

After the purge is complete, one or both of the combustion trains is started. A control switch places either a pair of burners or all of the burners 84 into operation. A flame controller opens the pilot solenoids. The pilot solenoids are normally closed, however, upon starting, the solenoids are opened and gas and oxygen flow through a pilot assembly.

At the tip of the pilot assembly the gases mix and are ignited by a spark emitted controlled by the flame controller. Upon ignition, a flame detector 126 detects the presence or absence of flame and transmits a signal to the control system 120. Once a flame is detected, the control system 120 opens the main blocking valves for both the gas and oxygen.

The main fuel and oxygen shut off valves 140, 240 operate independently. The safety valves 142, 242 are configured such that if the gas valve 140 does not open, the safety valves 142, 242 do not open. When the main gas valve 140 opens, the gas and oxygen safety valves open 142, 242. With all of the main valves open, a control relay is energized as well as an indicator light for each gas train on the control

88
387

panel 118. A pilot timer remains energized for a preset time period, about 30 seconds. Once the preset time duration has elapsed, the pilot circuit is de-energized and the normally closed solenoid valves are de-energized, isolating the pilot assemblies and the pilot indicator light for each burner train.

The flame detectors 126 continuously monitor the flame. Upon loss of flame indication, an alarm signal is transmitted to the CPU 106 and the control circuit isolates the gas and oxygen shut off valves 140, 240 and blocking valves 142, 242.

Once the pilots are de-energized, furnace automatic operation is assumed by the control system 120. While the system 120 is set to "low fire", the oxygen control valves 248 are maintained in the closed position regardless of process and set point values. The gas control valves 148 are not limited in their range since gas flow follows oxygen flow. The control system 120 maintains the gas at the preset ratio.

When operating in the automatic mode, the control system 120 responds to deviations from the process and set point values. Furnace temperature is monitored and matched to the temperature set point. When the process temperature deviates from the set point temperature, an error signal is generated, and the control system 120 transmits a signal to the oxygen control valve 248. The gas control valve 148 is also controlled by the control system 120; the set point variable follows the (stoichiometrically correlated) flow rate of oxygen as established by the oxygen flow meter. The control system 120 is configured to limit the control valves 148, 248 that, in turn, limit the output power of the burners 84.

The combustion system 100, and specifically the control system 120 can be configured to meet any desired application for and in any industry that relies on carbon based fuels. For example, in the present scrap aluminum processing plant 10, there are three applications or uses of the oxygen fueled combustion system 100. The first is for melting aluminum in a high production environment (i.e., in the melting furnace 14). Second, the system 100 is present in the holding furnace 16 primarily for steady state temperature and alloy mixing of the molten aluminum. The last application is in a dross-melting furnace 166 in which high temperature burners are used to release the metal units (aluminum which can be recovered for production) from the dross D (melt byproduct) by thermal shock. In each use, the burners are installed for energy conservation and environmental reasons.

Applications of the present combustion system 100 vary by thermal output (measured in maximum MMBTU per hour), size and orientation of the burners 84, as well as the temperatures at which the furnaces 14, 16, 166 are designed to operate. Those skilled in the art will recognize that mechanical differences (e.g., line sizes and the like) are needed to accommodate these differing needs, and that the specific programming of the control system 120 and CPU 106 may vary.

The present combustion system 100 provides a number of advantages over known and presently used combustion systems. For example, it has been shown through operation that there is considerable energy savings using the present combustion system 100. The oxy-fuel burners 84 operate at a much higher temperature than conventional furnaces. Thus, there is an observed increase in the heat available for melt (in other industrial applications, this increased heat can be made available for, for example, steam generation, refuse incineration and the like). This provides a reduction in the amount of fuel required to operate the furnaces 14, 16, 166. In practice of the present invention, it has been observed that

the average (and estimated) thermal input required per pound of aluminum melted is decreased from about 3620 BTU per pound (in a conventional furnace) to about 1083 BTU per pound in the melting furnace 14. This is a decrease of about 70 percent. In addition, the fuel needed to maintain temperature in the holding furnace 16 has been shown to be about one-half of that of a conventional furnace.

It is believed that the fuel savings is attributed to three principal factors. First, the increased heat of the combustion system 100 permits complete burn of all fuel without excess oxygen. Second, being held to theory, it is believed that the combustion system 100 operates within a radiative (or radiant) heat transfer zone, with some heat transfer by conduction.

The system 100 is designed to take advantage of the radiant heat transfer within the furnaces 14, 16, 166 to transfer heat effectively to the metal baths. Third, because there is no nitrogen in the combustion process, the amount of gas flowing through the furnaces 14, 16, 166 is low. Thus, an increased residence time of the hot gases permits the release of a larger proportion of energy (in the form of heat) prior to exhaust from the furnaces 14, 16, 166.

Typical exhaust gas volume is fractional of that of conventional furnaces. In that there is about 80 percent less gases (essentially the nitrogen component of air) in an oxy-fueled furnace, combustion efficiency is greatly increased. In conventional furnaces, the nitrogen component of air absorbs much of the energy (again, in the form of heat) from the melt. In the present combustion system 100, oxygen (rather than air) and fuel are fed to the furnaces 14, 16, 166 and burned in a stoichiometric ratio. This is carried out without excess oxygen. Thus, there is no energy absorbed by non-combustion related materials e.g., excess oxygen or nitrogen).

The present combustion system 100 also provides for increased production. When installed as part of a melting furnace, the melting capacity or throughput of the furnace will be increased. This again is attributed to the rapid and effective heat transfer in the furnace 14. As new metal is introduced into the furnace 14, the combustion system 100 responds rapidly to provide heat to melt the fed metal and to maintain the heat (temperature) of the molten metal in the pool 60 at the set point temperature. It has been found that aluminum accepts heat very efficiently from a radiative heat source.

Perhaps most importantly, is the reduced environmental impact of the present combustion system 100, compared to presently known and used combustion systems. The present system 100 advantageously uses no nitrogen (from air) in the combustion process. Typically, NOx production occurs in a furnace as a reaction product of the heated air that is fed by the combustion system. However, in that the present system 100 uses oxygen, rather than air, any NOx produced by the present combustion system is due solely to the amount of elemental nitrogen that is in the fuel (i.e., fuel-borne nitrogen). In that fuel-borne nitrogen levels are extremely low (compared to that contributed by air in conventional furnaces), the NOx levels of the present combustion system are well below any industry standards and governmental limitations. In addition to reducing NOx production, the production of other green-house gases, such as carbon monoxide, is also greatly reduced.

In addition, to the reduced environmental impact, the present oxy fuel combustion system conserves energy because significantly more aluminum can be processed at considerably less fuel input (any carbon based fuel, including coal, coal dust, natural gas or oil). As a result of

processing with less fuel usage, conservation of fuel resources is achieved. Essentially, less fuel is used in the aggregate, as well as on a per pound basis to produce aluminum. This reduces processing (e.g., fuel) costs, as well as the taxing use of fossil fuels.

Oxygen Supply

As will be recognized by those skilled in the art, the oxygen requirements for the present combustion system 100 can be quite high. To this end, although oxygen can be purchased and delivered, and stored for use in the system, it is more desirable to have an oxygen production facility near or as part of an oxy fuel combustion system, such as the exemplary scrap aluminum processing plant.

Referring now to FIG. 4, there is shown a cryogenic plant 180 for use with the present combustion system 100. The illustrated, exemplary cryogenic plant 180 produces 105 tons per day of at least 95 percent purity oxygen and 60,000 standard cubic feet per hour of nitrogen having less than 0.1 part per million oxygen. The plant 180 includes a 1850 horsepower three-stage compressor 182. The compressed air, at 71 psig enters a purifier/expander 184. The air exits the expander 184 at a pressure of 6.9 psig and a temperature of -264°F , and enters a cryogenic distillation column 186. In the column 186, air is separated (distilled) into gaseous nitrogen, liquid nitrogen, gaseous oxygen and liquid oxygen. The gaseous oxygen, indicated generally at 188, is fed directly to the combustion system 100 and the liquid oxygen, indicated generally at 190, is stored for example in tanks 191, for later use for in the combustion system 100. The oxygen pressure from the cryogenic plant 180 may be lower than that required for the combustion system 100. As such, an oxygen blower 192 is positioned between the oxygen discharge from the column 186 and the combustion system 100 feed to raise the pressure to that need for the combustion system 100.

The gaseous nitrogen, indicated generally at 194, is fed to a downstream annealing/stress relieving system (not shown) within the plant 10. These systems, which use nitrogen to treat aluminum to relieve stresses in the metal and to anneal the metal, will be recognized by those skilled in the art. In addition, the nitrogen 194 is used in the degassing units 24. The plant 180 also includes a back up supply of oxygen and nitrogen 191, 196, respectively, in liquid form in the event of, for example, maintenance or other situations in which the cryogenic plant 180 cannot supply the plant requirements. The back-up systems 191, 196 are configured to automatically supply oxygen and/or nitrogen as required, such as when the cryogenic plant 180 is off-line. Excess nitrogen can be stored, bottled and sold. Systems such as these are commercially available from various manufacturers, such as Praxair, Inc. of Danbury, Conn.

Heat Recovery

The aluminum processing system 10 also takes advantage of waste heat from the various processes. Specifically, the processing plant 10 can include a waste heat recovery system, indicated generally at 200 in FIG. 4. Exhaust gas, indicated at 202, from the melting furnace 14 and the holding furnace 16 is directed to one side of a waste heat recovery heat exchanger 204. In that the exhaust gas 202 is at a temperature of about 1000°F , there is a considerable amount of energy that can be recovered. In addition, energy can be recovered from the exhaust above the main furnace bath area 60.

The exhaust gas 202 is directed to the waste heat exchanger 204. A working fluid, indicated at 206, such as pentane, flows through the other side of the heat exchanger 204 under pressure. It is anticipated that a plate-type heat

exchanger or a plate-and-tube type heat exchanger is best suited for this application. Those skilled in the art will recognize the various types of working fluids that can be used for the present waste heat recovery system, as well as the heat exchange systems that are used with these types of working fluids. All such systems are within the scope and spirit of the present invention.

The heated fluid 206 is then directed to a vaporizer 208 where the fluid 206 is allowed to expand into vapor. The vapor 206 is directed to a turbine-generator set 210 to produce electricity. The vapor is then condensed, in a condenser 212, and returned to the heat exchanger 204. It is anticipated that sufficient energy to produce about 1.5 to 2.0 megawatts of power in the form of electricity can be recovered from the exhaust gas 202 from the above-described scrap processing plant 10.

Although a wide variety of working fluids 206 can be employed for use in such a waste heat or waste energy recovery system 200, in a presently contemplated system, pentane is used as the working fluid 206. Such an organic based system provides a number of advantages over, for example, steam-based systems. It is anticipated that a pentane-based working fluid 206, in a standard Rankine-cycle arrangement will allow for variations in vapor supply more readily than a steam-based system. In that the heat output from the furnaces (melting 14 and holding 16) is dependent upon metal production, rather than electrical needs, the energy input to the recovery system 200 is likely to vary and will be the controlling characteristic for power production. As such, a fluid 206 such as pentane provides the greater flexibility that is required for such a recovery system 200.

As will be recognized by those skilled in the art, the electrical power generated can be used to provide some of the power necessary for the scrap processing plant 10, including the cryogenic plant 180. Power for operating the plant 10 can be provided by an oxy fueled combustion system employed in an electric power generating plant (using a furnace or boiler), to generate steam for a steam turbine-generator set. In such an arrangement, when the power generated exceeds plant 10 requirements, the excess power can be sold to, for example, a local electric utility.

Dross Processing

Referring now to FIG. 2, the contaminants or dross D from the melting furnace 14 is further processed, separate and apart from the in-line aluminum recovery in a dross recovery process, indicated generally at 164. The dross D is removed, as by skimming, from the top of the molten aluminum pool 60 in the melting furnace 14. The dross D is pressed in a sieve-like bowl 168 by mechanical means. Pressing pushes the aluminum A from the dross D, through openings 170 in the bowl 168. The aluminum A that is pressed from the dross D is recovered and is returned to the melting furnace 14.

The oxide laden dross is fed into the recovery furnace 166 for reheating. The recovery furnace 166 is of a similar design to the melting furnace 14 in that it uses an oxy-fuel combustion system 100 design. In operation, however, the recovery furnace 166 "shocks" the dross laden material by using near direct flame impingement of about 5000°F . to release the aluminum metal from the dross D. The molten bath 172 temperature in the recovery furnace 166 is also considerably higher, about 1450°F – 5000°F , with a furnace air temperature of about 2000°F – 2200°F . In addition, the "shocking" process is carried out in a highly reduced atmosphere with substantially no excess oxygen within the furnace 166 (in contrast to conventional furnaces that operate at excess oxygen levels of about 3 to 5 percent).

The recovery furnace 166 is likewise skimmed and the resulting dross is pressed. The recovered aluminum A is transferred to the melting furnace 14. The remaining dross D2 is then sent for processing off-site, to a dross processor, for further aluminum recovery. It has been found that the present process, including the dross recovery process, provides a significant increase in the recovery of metal. The dross D2 that is ultimately shipped for further processing is only a fraction of the original quantity of dross D, thus reducing processing costs and increasing aluminum recovery.

Importantly, the present dross recovery process 164 is carried out without the use of salts or any other additives. Rather, thermal shocking is used to release the metal from the oxides. Known recovery processes use salts to separate the oxides from the metal. In that the salts remain in the oxides, which are in turn disposed of, ultimately, the salts are likewise sent for disposal. These salts can be environmental hazards and/or toxic. As such, the present process 164 is environmentally beneficial in that it eliminates the need for these salts and thus their disposal.

As to the overall processing scheme 164, again, it has been found that the present recovery steps (e.g., double pressing with intermediate reheating) result in aluminum recovery rates that are significantly improved over those of known processes, depending upon the grade of the scrap. Multi-percent increases in the amount of metal recovered from the dross D have been achieved.

Other Applications for the Combustion System

As discussed above, it is apparent that increased efficiencies from the use of oxygen in all continuous processes can be achieved. For example, power generating plants can increase flame temperature or reduce LOI in boilers by introducing oxygen to the burning formula (rather than air). This can increase efficiencies in operation. Essentially, burning of any carbon based fuels can be enhanced by the introduction of oxygen. The benefits are both economical and environmental. To date no industry other than glass-making has embraced oxy fuel technology. In the glass making industry this technology is used not for the efficiencies that result, but because of the high melting temperature required for the glass production process.

Nevertheless, use of oxy-fueled combustion systems in all industrial and power generating applications can provide reduced fuel consumption with equivalent power output or heat generation. Reduced fuel consumption, along with efficient use of the fuel (i.e., efficient combustion) provides greatly reduced, and substantially zero, NOx emissions and significant reductions in the emission of other green-house gases.

Due to the variety of industrial fuels that can be used, such as coal, natural gas, various oils (heating and waste oil), wood and other recycled wastes, along with the various methods, current and proposed, to generate oxygen, those skilled in the art will recognize the enormous potential, vis-a-vis industrial applicability, of the present combustion system. Fuel selection can be made based upon availability, economic factors and environmental concerns. Thus, no one fuel is specified; rather a myriad, and in fact, all carbon based fuels are compatible with the present system. In addition, there are many acceptable technologies for producing oxygen at high purity levels. Such technologies includes cryogenics, membrane systems, absorption units, hydrolysis and the like. All such fuel uses and oxygen supplies are within the scope of the present invention. Those skilled in the art will recognize that the other gases produced, such as hydrogen and nitrogen, can be stored, bottled and sold.

As discussed in detail above, one application for the present combustion is scrap aluminum processing or recovery. Other exemplary applications, as will be discussed below, include industrial power generation boilers and incinerators. These exemplary applications focus on the flexibility and applicability of this technology for broad industrial uses.

In general, the use of oxygen fuel fired combustion over current or traditional air fuel systems offers significant advantages in many areas. First is the ability to run at precise stoichiometric levels without the hindrance of nitrogen in the combustion envelope. This allows for greater efficiency of the fuel usage, while greatly reducing the NOx levels in the burn application. Significantly, less fuel is required to achieve the same levels of energy output, which in turn, reduces the overall operating costs. In using less fuel to render the same power output, a natural reduction in emissions results. Fuel savings and less emissions are but only two of the benefits provided by the present system.

Steam generators for the production of electricity, e.g., by industrial power boilers, are varied but are nevertheless fundamentally dependent upon their combustion systems to produce steam to turn a turbine-generator set. The fuels used vary based upon the design of the steam generators. However, all of the boilers require an oxidizing agent. Using the present oxy fuel combustion system, high purity oxygen is used as the sole oxidizing agent throughout the boiler or is used as a supplement to air providing the oxygen for combustion.

The benefits that can be enjoyed by other industrial applications hold true for the power industry. For example, the use of oxygen within the combustion zone enhances flame temperature while effectively cutting LOI (loss on ignition) by providing readily available oxygen for combustion. By increasing flame temperatures, greater rates of steam generation can be accomplished with the same fuel burn rate. Conversely, equal power generation or output can be recognized with lower fuel burn rates. Flame temperature will be dependent upon the concentration of the oxygen provided for combustion. To this end, with no oxygen supplementation or enrichment (i.e., pure air for combustion), flame temperatures will be about 3000° F. Referring to the above discussion, with pure oxygen as the oxidizing agent, the flame temperature will be about 4500° F. to about 5000° F. The anticipated flame temperatures for varying degrees of oxygen supplementation can be interpolated (it is believed linearly) between these temperatures.

Oxygen can also be used in conjunction with over-fired air systems or low NOx burners to reduce NOx and other green-house gases while ensuring stable flame at stoichiometry. Typical low NOx burners often increase LOI. This requires operators to burn more fuel. By adding enriched oxygen to the combustion process complete burn becomes available for fuel while at stoichiometry without additional nitrogen present (by additional air input) to create NOx.

It is anticipated that boilers will be designed around oxygen fueled combustion systems to take full advantage of the benefits of these systems. It is also anticipated that retrofits or modifications to existing equipment will also provide many of these benefits both to the operator (e.g., utility) and to the environment.

For example, FIG. 12 illustrates, schematically, a coal fired boiler or furnace 300. A wind box 302 is formed at a wall 304 of the furnace 300. A burner 306, through which the coal is introduced into the furnace 300, extends through the wind box 302. The coal is carried to the furnace 300 by a coal conduit 308. Primary air (as indicated at 310) is

70
389

97
390

supplied to carry the coal (from a pulverizer, not shown) through the conduit 308 and burner 306 into the furnace 300. Tertiary air (as indicated at 312) is provided to the coal conduit 308 to assure that the coal is conveyed to the burner 306.

Secondary air (as indicated at 314) is provided from the wind box 302 directly into the furnace 300 through registers 316 on the furnace wall 304. The secondary 314 air is the primary source of air for the combustion process. In one well recognized and known system for controlling NO_x, an over-fired air system (as indicated at 318) injects air (from the wind box 302), into the furnace 300 over the flame F. The underlying purposes for the over-fired air are two-fold. First is to provide sufficient oxygen to assure complete combustion of the fuel. Second is to reduce the flame temperature and thereby reduce the production of NO_x.

It is anticipated that the present combustion system can replace existing combustion systems, in total, or, in the alternative, can be used to provide an oxygen supplement to the air used for combustion. Specifically, it is anticipated that high purity oxygen can be used in place of any or all of the primary 310, secondary 314 and tertiary air 312 that is used in these known combustion systems. Those skilled in the art will recognize the benefits that can be obtained using the present oxy fuel combustion system (or as in certain applications oxygen supplementation system) in power boilers or furnaces that use other fossil fuels, such as oil or gas.

Use of the present combustion system is also contemplated for use in connection with industrial waste incinerations. Typical waste incinerators operate on the basis of resonant time, temperature and excess oxygen. An oxy-fuel system will allow for greater efficiency in the operation.

Resonant time is dependent upon the physical size of the heated chamber or stack, and the velocity and volume of gases passing through the chamber or stack. As nitrogen is taken out of the mix the resonant time naturally increases because the volume of gas used in the combustion process is less (by about 80 percent). When an incinerator is specifically designed with an oxy-fuel combustion system, the incinerator requires considerably less capital cost because of the reduced size that is required.

Typical flame temperatures of oxy-fueled combustion systems are much higher than air fueled systems. Thus, the efficiency of the burn ultimately requires less thermal input from the fuel, resulting in less operating costs. One of the benefits of the oxy-fuel combustion system is the control over excess oxygen levels that is achieved. In the case of conventional incinerators, excess oxygen is required to burn the volatile organic carbons (VOCs) and unburned carbon. This excess oxygen is provided by injecting air into the chamber or stack where the oxygen (from the air) is used to complete the burn of VOCs and unburned carbon. Although air provides the necessary excess oxygen, it also permits nitrogen into the chamber. The excess nitrogen that is introduced (to provide the excess oxygen) results in increased production of NO_x. Additionally, the excess air, overall, results in the generation of other green-house gases, and further acts to cool the chamber. This undesirable cooling then requires additional heat from the combustion system to overcome this cooling effect.

FIG. 13 illustrates, schematically, a typical industrial furnace 400. Waste (as indicated at 402) is introduced into a stack 404. A burner 406 is fed with air (as indicated at 408) and fuel (as indicated at 410) to produce a flame F to incinerate the waste 402. A carbon monoxide (CO) monitor 412 is located above the flame F to determine the level of CO in the exhaust gas. When the level of CO is too high,

additional air is fed to the burner 406. Optionally, air can be fed into the stack from a location 414 apart from the burner 406 to provide the additional air.

There are a number of drawbacks to this method of operation. As discussed above, the two controlling factors in waste incineration are time and temperature. That is, higher temperatures and greater resonant times increase the incineration of the waste. However, the addition of air (to reduce CO levels) increases the flow rate through the stack 404 thus reducing the resonant time. In addition, although the increased air flow reduces flame temperatures (which in turn reduces NO_x production), it also introduces high levels of nitrogen, which tends to increase NO_x production and offset the cooling (and reduced NO_x production) effect. Moreover, because of the cooling effect of the air, the efficiency of the incineration process is reduced.

The present oxy-fuel combustion system, on the other hand, uses high purity oxygen which permits burning the unburned material without the production of NO_x and other green-house gases and without cooling effects. The present oxy-fuel system thus affords several advantages over conventional or traditional incinerator systems. In that the primary duty of an incinerator is to burn VOCs and other contaminants before they reach the atmosphere, the present combustion system reduces the fuel used and thus results in reduced production of NO_x and other green-house gases, and a reduced volume of flue gases generally.

In addition, the installation (e.g., capital) and operating costs of incinerators employing oxygen fueled combustion systems will be greatly reduced. The capital cost of the incinerator will be reduced because the volume of gases through the system is expected to be much lower. As provided above, because the throughput of gas is much less, the overall size of the incinerator can be considerably less than conventional systems while maintaining the same resonant time. Thus, the incinerator can be physically smaller to handle the same waste load, and the required support systems and ancillary equipment and systems can likewise be smaller.

In addition, oxy-fueled combustion systems are generally considerably more efficient than conventional incinerator systems and require a fractional amount of the required energy input. The system also lends itself quite well to incinerator applications in which the fuel is unburned carbon or VOCs. Likewise since there is no nitrogen present in the flame envelope the development of NO_x is kept to a minimum, relegated to NO_x formed from fuel-borne nitrogen only.

The industries described above are only a few exemplary industries that can benefit from the use of the present oxy fuel combustion system. Those skilled in the art will recognize the applicability of this system in the chemical and petro-chemical industries, the power generation industry, plastics industries, the transportation industry and the like.

Oxy Fuel Combustion—The Benefits and Advantages

The benefits and advantages of oxy fuel combustion will be appreciated by those skilled in the art. Nevertheless, in an exemplary aluminum scrap processing facility, using an air-fired furnace outfitted for natural gas, it was found that the energy required to process or melt one pound of scrap aluminum (as determined by the cubic feet of natural gas used), was 3,620 BTUs (presented as 3,620 BTUs/lb). That is, about 3.45 standard cubic feet (SCF) of natural gas was used to melt each pound of aluminum. The energy requirement of 3,620 BTU is based upon each SCF of natural gas having a heat content of 1,050 BTUs.

In contrast, using the present oxy fueled combustion system, it was found that only 1.03 SCF of natural gas (or

92
391

1083 BTUs) was needed to melt each pound of aluminum. Thus, the present oxy fuel combustion system used 1083BTU/3620BTU or 29.9 percent of the fuel required for an air-fired furnace. This is a reduction of 1.0 less 0.299 or about 70 percent in the fuel consumption.

Similar though not quite as drastic reductions in fuel consumption have been observed with an oxy fueled combustion system that uses waste oil as a fuel. It was found that the heat content of the waste oil fuel need to melt each pound of aluminum was 1218 BTUs. Thus, the reduction observed with waste oil was $\frac{1083}{1218}$ or 33.6 percent, resulting in a reduction in fuel consumed of about 66 percent. As such, even before considering the reduction in pollutants produced, the present oxy fuel combustion system exhibited reductions in fuel consumption of about 70 percent and 66 percent using natural gas and waste oil, respectively, over an air-fired, natural gas fired furnace.

Table 1, below illustrates a comparison of the pollutants produced using an air-fired (gas fueled, shown as "AIR-GAS") combustion system, an oxy fueled (gas, shown as "OXY-GAS") combustion system and an oxy fueled-(waste oil, shown as "OXY-OIL") combustion system. The pollutants shown are carbon monoxide (CO), gaseous nitrogen compounds (NOx), particulate matter under 10 microns in size (PM10), total particulate matter (PT), sulfur containing gaseous compounds (SOx) and volatile organic carbon compounds (VOC).

The data is shown in two forms, namely, tons per year produced (TPY) and pounds produced per million BTUs used (lb/MMBTU). The parentheses following the OXY-GAS and OXY-OIL data represent pollutant reductions over those of the air-fired, gas fueled combustion system.

the furnace in which the combustion systems are installed is designed to limit to negligible air in-leakage (i.e., nitrogen in the combustion atmosphere).

Thus, as will be appreciated by those skilled in the art, the use of high purity oxygen (or highly oxygen-enriched air) and any carbon based fuel is highly adaptive to many existing industrial systems. It is anticipated that the uses for such a system in standard and conventional industrial applications will provide myriad advantages and benefits over known, presently used air fired and air over-fired systems. Although many present physical plants may require redesign and modification to incorporate the present oxy-fueled combustion systems to enhance performance and production, it is contemplated that the benefits gained by making these changes in design and structure, such as lowered operating costs, e.g., reduced fuel costs, lowered capital costs and reduced emissions, will far outweigh the costs to make these changes.

In the present disclosure, the words "a" or "an" are to be taken to include both the singular and the plural. Conversely, any reference to plural items shall, where appropriate, include the singular.

From the foregoing it will be observed that numerous modifications and variations can be effectuated without departing from the true spirit and scope of the novel concepts of the present invention. It is to be understood that no limitation with respect to the specific embodiments illustrated is intended or should be inferred. The disclosure is intended to cover by the appended claims all such modifications as fall within the scope of the claims.

What is claimed is:

1. A method for recovering aluminum from aluminum mixed with other than aluminum materials including the steps of:

TABLE 1

FLUE GAS ANALYSIS FOR AIR-GAS, OXY-GAS AND OXY-OIL COMBUSTION SYSTEMS						
Pollutant	AIR-GAS		OXY-GAS		OXY-OIL	
	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU
CO	4.88	1.0E-2	1.51	6.0E-3 (68.9)	1.32	5.0E-3 (73.0)
NOx	24.38	1E-1	0	0 (100.0)	10.04	0.041 (58.9)
PM10	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.146	6.0E-4 (-410)
PT	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.169	6.9E-4 (-490)
SOx	0.146	6.0E-4	4.5E-2	1.9E-4 (89)	1.39	5.7E-3 (-948)
VOC	0.982	2.4E-3	4.0E-1	1.6E-3 (31)	3.33	1.4E-2 (-471)

The values for PM10, PT, SOx and VOC for the oxy fueled waste oil combustion system show increases (as negative reductions). This is due in part to no "post-burn" treatment processes used in the exemplary combustion system. It is anticipated that proper "post-burn" processes would include bag houses (for particulate matter) and scrubbers (for sulfur-containing gases) and would result in reductions of at least about 98.99 percent and 95 percent, respectively, in emissions quantities. The values attained in TABLE 1 were based upon the reduction in fuel consumption observed and were determined in accordance with accepted United States Environmental Protection Agency (USEPA) criteria, as determined from USEPA tables AP42 (available from the USEPA website).

It must be noted that the above values are based upon controlling the environment within the furnace in which the oxy fueled combustion system is used. That is, the values shown above that indicate reductions in pollutants for the OXY-GAS and OXY-OIL combustion systems require that

feeding aluminum mixed with other than aluminum materials into a melting furnace, the furnace configured to substantially prevent the introduction of air;
feeding oxygen at a predetermined purity greater than 21 percent into the furnace;
feeding a carbon based fuel into the furnace;
combusting the oxygen and the carbon based fuel in the furnace, the oxygen and carbon based fuel combusted in the furnace wherein the oxygen in the oxygen supply and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion, and wherein the combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and wherein an exhaust gas stream from the furnace has a temperature of not more than about 1100° F.;
melting the aluminum in the furnace;

93
392

removing contaminant laden aluminum from the furnace;
and

discharging substantially pure molten aluminum from the furnace.

2. The method for recovering aluminum in accordance with claim 1 including the step of recovering waste heat from the furnace.

3. The method for recovering aluminum in accordance with claim 1 including the step of recovering aluminum from the contaminant laden aluminum laden and charging the recovered aluminum into the furnace.

4. The method for recovering aluminum in accordance with claim 2 including the step of converting the waste heat to electricity.

5. A salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum comprising the steps of:

introducing the dross-laden aluminum into a furnace, the furnace configured to substantially prevent the introduction of air, the furnace having an oxygen fuel combustion system for combustion of a carbon-based fuel with oxygen at a predetermined purity greater than 21 percent to produce a flame temperature of about 5000° F., and having substantially no excess oxygen, the dross-laden aluminum melting within the furnace;

skimming an upper portion of the melted dross-laden aluminum to produce a heavily dross-laden product;

pressing the heavily dross-laden product in a mechanical press to separate the aluminum from the heavily dross-laden product to produce a concentrated heavily dross-laden product.

6. The salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum in accordance with claim 5 including the step of returning the concentrated heavily dross-laden product to the furnace.

7. The salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum in accordance with claim 5 including

near direct flame impingement introduction of the dross-laden aluminum into the furnace.

8. The method for recovering aluminum in accordance with claim 1 including the step of feeding the carbon based fuel into the melting furnace at a rate that is dependent upon a feed rate of the oxygen.

9. The method for recovering aluminum in accordance with claim 1 including the step of feeding the oxygen into the melting inciting furnace at a rate that is dependent upon a feed rate of the carbon based fuel.

10. The method for recovering aluminum in accordance with claim 1 including the step of controlling at least one of the feeding the carbon-based fuel and feeding the oxygen so as to maintain one or more temperatures in the furnace at or below one or more desired temperatures.

11. The method for recovering aluminum in accordance with claim 10 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the melting furnace.

12. The salt-less method for separating aluminum in accordance with claim 5 including the step of supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon a feed rate of the oxygen.

13. The salt-less method for separating aluminum in accordance with claim 5 including the step of feeding oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon a feed rate of the carbon based fuel.

14. The salt-less method for separating aluminum in accordance with claim 5 including the step of controlling at least one of a carbon-based fuel supply and an oxygen supply so as to maintain one or more temperatures in the furnace at or below one or more desired temperatures.

15. The salt-less method for separating aluminum in accordance with claim 14 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

* * * * *



Industria y Comercio

S U P E R I N T E N D E N C I A

Delegatura de Propiedad Industrial

División de Nuevas Creaciones

SOLICITUD

PATENTE DE INVENCION

21. EXPEDIENTE No. 03.094.940

54. TÍTULO Metodo de Oxigeno - combustible
PARA RECUPERAR ALUMINIO

51. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL C21B 13/00

71. SOLICITANTE JUPITER OXYGEN CORPORATION

DOMICILIO Schiller Park, IL. EE.UU.

74. APODERADO Fernando Perez Caballero

22. BOGOTÁ, D. C., _____

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

PATENTE	☒	MODELO DE UTILIDAD	☐	DISÑO INDUSTRIAL	☐
SOLICITANTE RAZON SOCIAL O APELLIDOS Y NOMBRES <u>JUPITER OXYGEN CORPORATION</u>					
DOMICILIO <u>Schiller Park, IL, E. U. A.</u>					
APODERADO <u>Fernanda Perez Caballero</u>					
TITULO <u>Metodo de Oxigeno-Combustible para combustion</u>					
CLASIFICACION <u>C22B 8/00</u>					
EXPEDIENTE No. <u>03.094,940</u>					
FECHA DE SOLICITUD					
ROLLO MICROFILM					
CERTIFICADO No.					
FECHA DE CONCESION					
VIGENCIA DESDE					
HASTA					
PRORROGA					
CAMBIO DE NOMBRE					
TRASPASO A					
INVENTOR (ES) <u>GROSS, DIETRICH, ET</u>					
OTROS					

 Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA		395 SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO DIVISION DE NUEVAS CREACIONES TARJETA ARCHIVO TEMATICO PATENTE DE INVENCION ☒ PCT ☐ MODELO DE UTILIDAD ☐ DISEÑO INDUSTRIAL ☐		
(21) N° de solicitud: 03.094.940 (22) Fecha de solicitud:		FIGURA CARACTERISTICA 6 x 6 cm		
(51) Clasificación Internacional: F23B 5/00				
(71) Solicitante(s) JUPITER OXYGEN CORPORATION				
(72) Inventor(es) GROSS DIETRICH, M				
(74) Agente: Fernando Perez Caballero				
(30) Prioridad		(31) No. Prioridad	(32) Fecha	(33) País
		09/843,679 2704.01 US		
(85) Fecha inicio fase nacional:		(87) Publicación Internacional:		
(86) Datos relativos a la presentación de la solíc. PCT		Fecha:		
Fecha de presentación de la solicitud:		No. Publicación : WO		
No. de solicitud PCT/				
(54) Título: Método UN INCINERADA DE DESECHOS DE OXIGENO - COMBUSTIBLE Y				
(57) Resumen:				
CONTINUA AL RESPALDO ...				

3972

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 07 - 22,095
FECHA : MARZO 15 DE 2007

CONSIGNACION

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	Nº. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
FERNANDO PEREZ	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243291	08/03/2007	900,000.00
CONSUELO ZARANA	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243292	08/03/2007	800,000.00

C O N C E P T O

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01	SOLICITUDES	
1		TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IM	482,000.00
		TOTAL :	482,000.00

SUM: CUATROCIENTOS OCHENTA Y DOS MIL PESOS

RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

3
398

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 07 - 22,097
FECHA : MARZO 15 DE 2007

CONSIGNACION

DEPOSITANTE	TIPO PASO	BANCO	CUENTA	Nº. PASO	FECHA PASO	Vr. PASO
fernando PEREZ	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243291	08/03/2007	900,000.00
CONSUELO ZARAME	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243292	08/03/2007	800,000.00

C O N C E P T O

CANT. RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1 50005-01-01 SOLICITUDES	02 INVOCACION DE UNA PRIORIDAD EN MU	135,000.00
	TOTAL :	135,000.00

SON: CIENTO TREINTA Y CINCO MIL PESOS

RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

REF: Expediente No 03.094.940 Solicitud de Registro de Patente de Invención
"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE Y USOS PARA EL" a
nombre de la sociedad JUPITER OXYGEN CORPORATION

RESPUESTA AL CONCEPTO TECNICO.

EL suscrito vecino de Bogotá D. C., abogado titulado, identificado como aparece al pie de mi firma, actuando como apoderado en este asunto, me refiero al auto No 14893 proferido por ese Despacho notificado por Anotación de Estado de Patentes del 29 de diciembre de 2006, y para dar respuesta a dicho requerimiento, me permito solicitar y adjuntar los siguientes documentos:

UNIDAD de INVENCION.

Objeciones con relación a la Unidad de Invención y reivindicaciones.

Atendiendo los requerimientos del Examinador Técnico de la División de Nuevas Creaciones en cuanto a que los objetos aquí solicitados son varios y que por lo tanto se debe proceder a corregir las reivindicaciones, me permito poner a consideración de su Despacho tal como lo dispone el artículo 36 de la Decisión 486 lo siguiente:

Dividir esta solicitud en cuatro solicitudes así:

- SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTIÓN
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO
- UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y MÉTODO

1) Respecto del SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE me permito adjuntar lo siguiente:

- Nueva Descripción de la Invención en 53 folios
- Nuevas Reivindicaciones 1 a 22 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,436,337 B1

400
\$

JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS

2) Para la nueva solicitud de: **METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION** me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 07-22,096 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 07-22,099 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 20 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,596,220 B2

3) Para la nueva solicitud de: **UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y METODO** me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 23,367 del 21 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,098 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 15 inclusive, en 3 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,797,228 B2

4) Para la nueva solicitud de: **METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO** me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 22,095 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,097 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios

401
6

JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS

- Reivindicaciones 1 a 7 inclusive, en 3 folio
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,818,176 B2

Finalmente, dando cumplimiento a lo exigido por el Examinador Técnico de Patentes, solicito a su Despacho que se realice la evaluación de los requisitos de patentabilidad y se proceda a **CONCEDER** el privilegio para las patentes de invención tituladas:

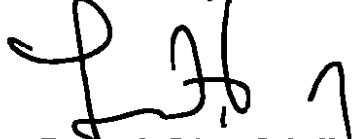
“SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE”,

“METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION”,

**“UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y
METODO” y**

**“METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR
ALUMINIO”**

Atentamente,



Fernando Pérez Caballero
C.C. 17.173.340
T.P. 18.531

Bogotá, Marzo 29 de 2007



INDUSTRIAL PROPERTY - COPYRIGHTS PHARMACEUTICAL LICENSES

AGENCY ESTABLISHED IN 1926
Cables: "HERALDO" or "PERMAR"

Air Mail Boxes { 999
3400
6182
Bogotá, Colombia, S.A.

IMPORTANT NOTE

The lodging of this GENERAL POWER with the Patent Office obviates the necessity of presenting special powers with each individual trade mark application.

402

7

FOR PATENTS AND TRADE MARKS IN COLOMBIA

Poder General

General Power of Attorney

1 Applicant's name

(1) _____

2 Applicant's address

domiciliado en (2) _____

3 Leave blank

nombre al Dr. FERNANDO PEREZ CABA-
LLERO y/o MARIA DEL CONSUELO
ZARAMA URDANETA

domiciliados en Bogotá, República de Colombia, con dirección en la _____

4 Date

5 Applicant's signature

_____ de la misma ciudad, como sus representantes con poder especial amplio y suficiente, para recabar de las oficinas y autoridades Colombianas, administrativas, judiciales o de policía, en primera o segunda instancia, la obtención de Patentes de Invención, Registro de Marcas, de Modelos y de Dibujos Industriales, de Nombres Comerciales y Enseñas, lo mismo que traspaños, extensiones, renovaciones, cambios de nombre, registro de licencias de explotación y registro de licencias de uso referentes a tales actuaciones, a cuyo efecto las faculta para dar ante dichas autoridades todos los pasos necesarios al objeto indicado, elevar solicitudes, formular descripciones, enmiendas, protestas, declaraciones, apelaciones y reclamos, solicitar la aplicación de medidas cautelares, aceptar en nuestro nombre y representación la Cesión de derechos de invención y de patente de invención que se nos haga por cualquier persona, abonar todos los impuestos, cuotas y pagos determinados por la ley, recibir todos los documentos y valores dando el descargo respectivo, llenar cualesquiera otros requisitos, desistír y tomar en fin todas las medidas que creyeren conducentes al resguardo de nuestros intereses y en caso de presentarse oposiciones para que intervengan como demandantes o como demandados, con todas las demás facultades legales necesarias. Este poder comprende además las facultades de recibir, desistír, transigir, comprometer, sustituir, revocar sustituciones, recibir notificaciones y nombrar apoderados judiciales o extrajudiciales.

Dado y firmado en (4) _____

(1) _____

Jupiter Oxygen Corporation

domiciled in (2) _____

4825 N. Scott Street

Schiller Park, IL 60176, USA

hereby appoint Dr.FERNANDO PEREZ CABA-
LLERO and/or MARIA DEL CONSUELO
ZARAMA URDANETA

domiciled in Bogotá, Republic of Colombia, _____

_____ of the same City, as our representatives with special, ample and sufficient power to obtain from the offices and Colombian authorities, administrative, judicial and police, in first or in second instance, Privileged Patents of Invention, Registration of Trade Marks, of Models and Industrial Drawings, of Commercial Names and emblems, as well as assignments, extensions, renewals, changes of name, registration of licences of exploitation and of licences of use referring to said actions, who are empowered to take before said authorities all of the necessary steps for the purposes indicated, to file application, to formulate descriptions, corrections, protests, declarations, appeals and claims, apply for precautionary measures, to accept on our behalf and representation the assignment of rights of invention and titles of invention that may be done to us by any person, to pay all taxes, quotas and payments prescribed by law, to receive all the documents and proceeds giving the respective acquittance or receipt; to fulfill any other measures that may be deemed conducive to the safeguard of our interests, and in case oppositions are presented to intervene as complainant and defendant, with all necessary legal faculties. This power of attorney includes the faculties to receive, desist, compromise, transact substitute it in all or in part, to revoke substitutions, to receive notifications and to appoint extra-judicial or judicial attorneys.

Given and signed in (4) _____

(5)

Corporate Seal to be affixed Jupiter Oxygen Corporation
Mark Schoenfield - Vice President, General Counsel

The applicant's signature must be attested by a Notary Public through the NOTARIAL CERTIFICATE: in the «(Individual)», when the signer is a natural person; and in the «(Corporations)», when is a legal one. The Notary's signature must then be legalized by a Colombian Consular Officer. Who must also issue a declaration.

La firma del solicitante debe ser atestada por un Notario Público por medio de la DECLARACION NOTARIAL: en la «(Individual)», cuando el firmante es una persona natural; y en la de «(Sociedades)», cuando es una persona jurídica. La firma del Notario deberá ser legalizada por el Consulado Colombiano.

La declaración Notarial a la vuelta
Notarial acknowledgement on c) her side

(With Confidential Declaration and Signature)
JACQUELINE D. ARNOLD
OFFICIAL SEAL
NOTARY PUBLIC, STATE OF ALABAMA
MY COMMISSION - EXPIRES: 04/12/08

Todos los hechos anteriores le constan por haber examinado los documentos respectivos y de todo ello da fe.

Dado y firmado en _____

que tiene facultad para otorgar este poder; y que dicha compañía está domiciliada en —

_____ որ Բնութի յո գիտեալորդ

«ՄԱՐԿԱՆԱԿԱՆ ՍԵՐՎԻՍ»-Ի ՎԵՐԱԿԱՆԱԿՈՒՄԸ

El Infrascripto Notario Certifica: que la firma
que antecede y dice _____

All the foregoing facts are known to the Notary due to his having examined the respective documents to which he, the Notary attests. Coast County, Illinois

4825 N. Scott Street
Schiller Park, Illinois 60176 US

and that he is empowered to grant this power;
and that said company is domiciled in —

Jupiter Oxygen Corporation

the post of
Vice President, General Counsel

is authentic; that the signer at present fills

the preceding signature reading
Mark Schoenfeld

The undersigned Notary Public certifies that

El Notario Público,

a quien(es) doy fe de conocer y me consta que
se (son) la(s) persona(s) descrit(a)s y firmam-
ta(s) del documento que precede, declarand
ante mi que otorga(n) el mismo para los fines
y propósitos que en él se expresan.

(Individual)
A los _____ días del mes _____ de 18____
comparecer _____ personalmente ante mí, Notario
Público _____

DECLARACION NOTARIAL

to me known, and we to be the person(s) described in and who executed the foregoing document, and he (they) duly acknowledged to me that he (they) executed the same for the uses and purposes therein expressed.

(Individual)
On this _____ day of _____, 18____
personally appeared before me, a Notary Public

NOTARIAL CERTIFICATE

[TRADUCCIÓN OFICIAL DEL INGLÉS]



[Sello:]

**SELLO OFICIAL
JACQUELINE D. ARNOLD
NOTARIA PÚBLICA, ESTADO DE ILLINOIS
MI COMISIÓN EXPIRA: 04/02/06**

**ESTADO DE ILLINOIS
Secretaría de Estado
SPRINGFIELD, ILLINOIS**

APOSTILLA

(Convención de La Haya del 5 de Octubre de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por: JACQUELINE D. ARNOLD
3. En su calidad de: NOTARIA PUBLICA, CONDADO DE COOK
4. Y lleva el sello de: ESTADO DE ILLINOIS

Certificado

5. En: Springfield, Illinois
6. El día: 3 DICIEMBRE 2003
7. Por: El Secretario de Estado de Illinois
8. Bajo el No.: 80306
9. Sello: SELLO DEL ESTADO DE ILLINOIS
10. Firma: JESSE WHITE, SECRETARIO DE ESTADO DE ILLINOIS

M. Méndez S.
JOSE MIGUEL MENDEZ

Traductor Oficial

Reg. 971 de Mayo 1988 MINJUSTICIA



SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by JACQUELINE D. ARNOLD

3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC, COOK COUNTY

4. bears the seal/stamp of STATE OF ILLINOIS

Certified

5. Springfield, Illinois

6. DECEMBER 3, 2003

7. by the Secretary of State, State of Illinois

8. No. 80306

9. Seal/Stamp:

10. Signature:

Jesse White

JESSE WHITE
SECRETARY OF STATE
STATE OF ILLINOIS



~~10~~

[TRADUCCIÓN OFICIAL DEL INGLÉS]

DOCUMENTO DE CESION

El suscrito, Dieter M. Gross, domiciliado en 769 Michigan Avenue, Wilmette, Illinois 60091, E.U.A., inventor de la Solicitud Internacional PCT/US02/08701 Fase Nacional en Colombia No. 03.094.940, declara mediante este documento que se ha efectuado la cesión de todos los derechos y títulos de dicha patente sin excepción alguna a Jupiter Oxygen Corporation, domiciliada en 4825 N. Scott Street, Schiller Park, Illinois 60176, E.U.A., pudiendo por consiguiente la Cesionaria ser considerada ahora como la única propietaria de dicha patente para usarla y disponer de ella en el mejor de sus intereses, sin ninguna otra reivindicación en el asunto en nombre del Cesionario en ningún caso ni en ningún momento.

La cesionaria acepta mediante este documento la cesión.

CEDENTE

Dieter M. Gross (firma)

CESIONARIA

Jupiter Oxygen Corporation

Mark Schoenfield (firma)

Vicepresidente, Apoderado General

ESTADO DE ILLINOIS

CONDADO DE COOK

Certifico que Dietrich M. Gross y Mark Schoenfield comparecieron personalmente ante mí y reconocieron que ellos firmaron, sellaron y entregaron debidamente el adjunto documento de cesión como un acto libre y voluntario, hoy 26 Noviembre 2003.

Jacqueline D. Arnold, Notaria Pública - Condado de Cook
(Firma y Sello Oficial)

ESTADO DE ILLINOIS
Secretaría de Estado

SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLA

(Convención de La Haya del 5 de Octubre de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por: JACQUELINE D. ARNOLD
3. En su calidad de: NOTARIA PUBLICA, CONDADO DE COOK
4. Y lleva el sello de: ESTADO DE ILLINOIS

Certificado

5. En: Springfield, Illinois
6. El día: 3 DICIEMBRE 2003
7. Por: El Secretario de Estado de Illinois
8. Bajo el No.: 80305
9. Sello: SELLO DEL ESTADO DE ILLINOIS
10. Firma: JESSE WHITE, SECRETARIO DE ESTADO DE ILLINOIS

M. Méndez S.
JOSE MIGUEL MENDEZ
Traductor Oficial
Lec. 911 de Mayo 1988 MINJUSTICIA



SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by JACQUELINE D. ARNOLD

3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC, COOK COUNTY

4. bears the seal/stamp of STATE OF ILLINOIS

Certified

5. Springfield, Illinois

6. DECEMBER 3, 2003

7. by the Secretary of State, State of Illinois

8. No. 80305

9. Seal/Stamp:

10. Signature:

Jesse White

JESSE WHITE
SECRETARY OF STATE
STATE OF ILLINOIS



200
13

ASSIGNMENT DOCUMENT

The undersigned, Dietrich M. Gross, domiciled in 769 Michigan Avenue, Wilmette, Illinois 60091, U.S.A. inventor of the International Application No. PCT/US02/08701 National Phase in Colombia No. 03.094.940 declare by this document that assignment has been made of all rights and titles with no exception, to Jupiter Oxygen Corporation, domiciled in 4825 N. Scott Street, Schiller Park, Illinois 60176, U.S.A., of said patent the Assignee being able to be considered, therefore, as the only owner of said patent, to use the same and to dispose of same to his best interests, without any further claim in the matter on behalf of the Assignor in any case or at any time.

The Assignee by means of this document accepts the assignment.

ASSIGNOR


Dietrich M. Gross

ASSIGNEE

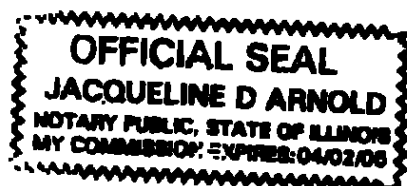
Jupiter Oxygen Corporation


Mark Schoenfield
Its: Vice President, General Counsel

STATE OF ILLINOIS)

COUNTY OF COOK)

I hereby certify that Dietrich M. Gross and Mark Schoenfield, before me personally appeared and acknowledged that the foregoing assignment was duly signed, sealed and delivered by them as their free and voluntary act on this 26th day of November, 2003.



(SEAL)


Jacqueline D. Arnold
Notary Public - Cook County

UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE
y METODO

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[001] La presente invención se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible. Más particularmente se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible en el que se reduce la producción de gases invernadero y en el que se reduce el consumo de combustibles fósiles.

[002] Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno son conocidos, sin embargo su uso es bastante limitado. Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno generalmente se usan únicamente en aquellas aplicaciones en las que se requieren temperaturas de llama sumamente altas. Por ejemplo estos sistemas pueden usarse en la industria manufacturera de vidrio para lograr las temperaturas necesarias para fundir el sílice a una temperatura de fusión. Por otra parte, comúnmente se acepta que las limitaciones estructurales y materiales dictan las temperaturas máximas a las cuales pueden ser sometidos los sistemas industriales. Para tal fin, sistemas de combustión alimentados por aire o encendidos por aire se usan en calderas, hornos y similares en casi todas las aplicaciones industriales incluyendo manufactura, generación de energía eléctrica y otras aplicaciones procedimentales.

[003] En particular, los sistemas de combustión alimentados por aire o los sistemas de calentamiento eléctrico se usan en todas las industrias de fabricación de acero y aluminio, así como también en la industria generadora de energía, y en otras industrias basadas en combustibles basados en carbono. En los sistemas alimentados por aire, el aire que está constituido por aproximadamente 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno, se alimenta al horno conjuntamente con combustible. La mezcla aire

combustible se inflama creando una llama. La llama transfiere energía en forma de calor de la mezcla aire combustible al horno.

[004] En las industrias del acero y del aluminio, los hornos alimentados por aire y los hornos eléctrico han sido usados como la fuente primaria de calor para crear metales fundidos. Con respecto a los hornos alimentados por aire, convencionalmente se acepta que los requerimientos de energía, equilibrados contra las limitaciones térmicas del equipo procedimental, exigen o sustentan sólidamente el uso de estos tipos de sistemas de combustión. Respecto al uso de hornos eléctricos en la industria del aluminio, la sabiduría convencional también respalda este tipo de fuente de energía para lograr las temperaturas necesarias para el procesamiento del aluminio.

[005] Un inconveniente en el uso de los sistemas de combustión alimentados por aire es que estos sistemas producen compuestos gaseosos de nitrógeno (NOx) y otros gases invernadero tales como dióxido de carbono, dióxido de azufre y similares como resultado inherente del proceso de combustión. Los NOx y otros gases invernadero son un contribuyente mayor a la contaminación ambiental, la cual incluye, sin limitarse a ella, la lluvia ácida. Como tal, es deseable la reducción de la emisión de NOx y de otros gases invernadero y la emisión ha sido considerablemente limitada como resultado de las restricciones regulatorias. Para tal fin, varios dispositivos tienen que ser instalados en estos sistemas de combustión para limitar y/o reducir los niveles de NOx y de otros gases invernadero producidos.

[006] Otro inconveniente de los hornos alimentados por aire es que mucha de la energía liberada del proceso de combustión es absorbida o usada para calentar el nitrógeno gaseoso presente en el aire que es alimentado al horno. Esta energía se desperdicia esencialmente ya que típicamente el gas de nitró-

geno calentado simplemente es despedido de la fuente de calor, por ejemplo del horno. De este modo parte de los costos de la energía son dirigidos al medio ambiente en forma de un cúmulo de gases de desecho y similares. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán fácilmente otros inconvenientes de los sistemas de combustión alimentados por aire que se conocen.

[007] Los hornos eléctricos también tienen sus inconvenientes. Por ejemplo, algo inherente a estos sistemas es también la necesidad de una fuente de electricidad que esté disponible permanentemente, esencialmente sin interrupción. Debido al hecho de que para el funcionamiento de estos hornos eléctricos se requieren grandes cantidades de energía eléctrica, típicamente es necesario tener ubicados estos hornos eléctricos en la cercanía de las plantas generadoras de energía y/o tener grandes servicios de transmisión eléctrica. Además los hornos eléctricos requieren una considerable cantidad de mantenimiento para garantizar que los hornos funcionen con eficiencia óptima o casi con eficiencia óptima. Además un hecho inherente al uso de hornos eléctricos es la ineficiencia en convertir un combustible en energía eléctrica (la mayoría de las estaciones de energía alimentadas por combustibles fósiles que usan turbinas de vapor funcionan a niveles de eficiencia menores de aproximadamente 40 por ciento y generalmente menores de aproximadamente 30 por ciento). Además estas grandes estaciones alimentadas por combustibles fósiles producen cantidades sumamente grandes de NOx y de otros gases invernadero.

[008] Por ejemplo en la industria procesadora de aluminio y más específicamente en la industria de recuperación de retal de aluminio, la sabiduría convencional dice que las temperaturas de llama en los hornos deben ser mantenidas entre aproximadamente 1371°C y 1649°C. Se cree que en este ámbito de temperatura se logra un equilibrio entre la energía necesaria para proporcionar suficiente calor para fundir el retal de alu-

minio y mantener temperaturas apropiadas del metal en el baño fundido a aproximadamente 788°C. Los hornos conocidos utilizan un diseño en el que las temperaturas de llama típicamente no superan 1649°C para garantizar el mantenimiento de la integridad estructural de estos hornos. Es decir, se cree que sobrepasar estos límites de temperatura puede debilitar la estructura de soporte del horno y, así, resultar en accidentes catastróficos. Además, las temperaturas de escape para hornos convencionales son por lo general aproximadamente 871°C. Así, la diferencia de temperatura entre la llama y el escape es tan solo aproximadamente 760°C. Esto resulta en un ineficiente uso de la energía para el proceso de combustión.

[009] Se cree también que las pérdidas de energía y el potencial daño al equipo de hornos en los que las temperaturas de llama sobrepasan aproximadamente 1649°C superan con creces cualquier eficiencia de funcionamiento que se pueda alcanzar mediante más altas temperaturas de llama. Así, de nuevo la sabiduría convención respalda totalmente el uso de hornos alimentados por aire en los que las temperaturas de llama están en un límite superior de aproximadamente 1649 °C (por estequiometría de llama) que garantiza la integridad del horno y reduce las pérdidas de energía.

[010] Por consiguiente, existe una necesidad de un sistema de combustión que proporcione las ventajas de reducir la contaminación ambiental (atribuible al NOx y a otros gases invernadero) y al mismo tiempo proporcione un uso eficiente de la energía. Es deseable que tal sistema de combustión se pueda usar en una amplia variedad de aplicaciones industriales, desde la industria generadora de energía hasta las industrias procesadoras químicas, la producción y el procesamiento de metales, etc. Tal sistema de combustión se puede usar en aplicaciones de procesamiento de metales, por ejemplo aluminio, en los que el sistema de combustión proporciona mayor eficiencia energética y menor contaminación. También existe una necesidad

78

(específicamente en la industria procesadora de retal de aluminio) de equipos de procesamiento (específicamente hornos) que estén diseñados y configurados para resistir elevadas temperaturas de llama asociadas con dicho eficiente sistema de combustión y para aumentar la eficiencia energética y reducir la producción de contaminación.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

[011] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible incluye un horno que tiene un medio ambiente controlado e incluye al menos un quemador. El sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una pureza predeterminada y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono. El presente sistema de combustión aumenta la eficiencia del combustible consumido (es decir requiere menos combustible), produce cero NOx (a no ser el contenido por las fuentes combustibles) y significativamente menos otros gases invernadero.

[012] El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[013] El sistema de combustión preferiblemente incluye un sistema de control para controlar el abastecimiento del combustible basado en carbono y para controlar el abastecimiento de oxígeno al horno. En el sistema de control, el abastecimiento de combustible sigue al abastecimiento de oxígeno al horno. El abastecimiento de oxígeno y de combustible es controlado por la temperatura predeterminada del aluminio fundi-

do. En este arreglo, un sensor detecta la temperatura del aluminio fundido.

[014] El combustible basado en carbono puede ser cualquier tipo de combustible. En una forma de realización el combustible es un gas tal como gas natural, metano, etc. Alternativamente el combustible es un combustible sólido tal como carbón o polvo de carbón. Y alternativamente el combustible es un combustible líquido tal como fuel-oil, incluyendo petróleos de desecho.

[015] En un uso a modo de ejemplo, el sistema de combustión se usa en un sistema de recuperación de retal de aluminio para recuperar aluminio del retal. Tal sistema incluye un horno para contener el aluminio fundido a una temperatura predeterminada, el cual tiene al menos un quemador. El sistema de recuperación incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno al horno mediante el sistema de combustión. Para lograr la máxima eficiencia, el abastecimiento de oxígeno tiene una pureza de oxígeno de al menos aproximadamente 85 por ciento.

[016] Un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece un combustible basado en carbono. El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[017] En tal sistema de recuperación, la combustión del oxígeno y del combustible crea energía que se usa para recuperar aluminio del retal a una tasa de aproximadamente 2519 Joules por kg de aluminio recuperado. El combustible puede ser un gas

tal como gas natural, o puede ser un combustible sólido o un combustible líquido.

[018] En el sistema de recuperación el calor del horno puede ser recuperado en un sistema de recuperación de calor de desecho. El calor recuperado puede ser convertido en energía eléctrica.

[019] En un sistema muy preferido el sistema de combustión incluye un sistema para proporcionar oxígeno. Un sistema tal separa el aire en oxígeno y nitrógeno, tal como un sistema de separación criogénico. Otros sistemas incluyen separación de membranas y similares. El oxígeno también puede ser abastecido mediante la separación de agua en oxígeno e hidrógeno. En tales sistemas el oxígeno se puede almacenar para ser usado a medida que se necesita. Se conocen otros sistemas para generación/separación de oxígeno.

[020] El sistema de combustión de oxígeno-combustible se puede usar generalmente con cualquier horno que tenga un medio ambiente controlado. Esto es con cualquier horno que substancialmente no tenga fuga alguna desde el medio ambiente exterior al interior. Tal sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una determinada pureza y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono.

[021] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible basado en carbono son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. En tal horno, una corriente de gas de escape del horno tiene substancialmente cero compuestos gaseosos producidos por la combustión que contengan nitrógeno. Esto es, como no se alimenta nitrógeno con el combustible, a menos que el combustible contenga nitrógeno, el gas de escape substancialmente no

contiene productos de combustión que contengan nitrógeno (es decir NOx) y niveles significativamente reducidos de otros gases invernadero.

[022] Este sistema de combustión puede usar cualquier combustible basado en carbono, incluyendo gas como gas natural o metano, cualquier combustible sólido como carbón o polvo de carbón, o cualquier combustible líquido como petróleo, incluyendo petróleos de desecho refinados. En tal sistema de combustión los compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión se forman a partir del nitrógeno contenido en el combustible.

[023] Un método para recuperar aluminio del retal incluye alimentar retal de aluminio en un horno de fusión y someter a combustión en el horno oxígeno y combustible basado en carbono. En la combustión de oxígeno y combustible, el oxígeno y el combustible son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[024] El aluminio se funde en el horno, el aluminio cargado de contaminantes se retira del horno y el aluminio fundido substancialmente puro se descarga del horno. El método puede incluir el paso de recuperar el aluminio del aluminio cargado de contaminantes, es decir escoria, y cargar en el horno el aluminio recuperado.

[025] El método puede incluir recuperar el calor de desecho del horno. El calor de desecho recuperado puede ser convertido en electricidad.

[026] Un horno para recuperar aluminio del retal de aluminio incluye una región de baño para el aluminio fundido contenido a una temperatura predeterminada y al menos un quemador. Un abastecimiento de oxígeno abastece oxígeno de una pureza mínima de aproximadamente 85 por ciento, y un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece combustible tal como gas natural, carbón, petróleo, etc.

[027] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible se alimentan al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[028] En una forma de realización el horno está formado de placa de acero, vigas de acero y materiales refractarios. La paredes del horno están configuradas con una viga de acero y armazón de placa, al menos una capa de material aislante prensable, al menos una capa de ladrillo refractario y al menos una capa de material refractario moldeable. El piso del horno está configurado con una viga de acero y armazón de placa y al menos dos capas de material refractario, siendo al menos una de las capas de material refractario moldeable.

[029] También se revela un método que no usa sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria, método que incluye los pasos de introducir al horno el aluminio cargado de escoria. El horno tienen un sistema de combustión de combustible de oxígeno que produce una temperatura de llama de aproximadamente 2760°C y no tiene substancialmente exceso de oxígeno. El aluminio cargado de escoria se funde dentro del horno.

[030] Una porción superior del aluminio cargado de escoria fundido se quita ("se desnata") para producir un producto

23

fuertemente cargado de escoria. El producto fuertemente cargado de escoria se prensa en una prensa mecánica para separar el aluminio del producto fuertemente cargado de escoria y producir un producto concentrado fuertemente cargado de escoria. El método puede incluir el paso de retornar al horno el producto concentrado fuertemente cargado de escoria. La introducción al horno del aluminio cargado de escoria se efectúa bajo incidencia directa cercana de la llama con el fin de liberar los óxidos de la escoria.

[031] Esta y otras ventajas de la presente invención se harán evidentes en la siguiente descripción detallada conjuntamente con las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[032] Los beneficios y las ventajas de la presente invención se harán más fácilmente evidentes para las personas de conocimiento corriente de la técnica relevante luego de examinar la siguiente descripción detallada y las figuras adjuntas.

[033] La FIG. 1 es un esquema general de flujo de un ejemplo de un proceso de recuperación de retal de aluminio que tiene un horno de fusión con un sistema de combustión de oxígeno-combustible, en el cual se han reducido la producción de gases invernadero y el consumo de combustible, sistema el cual incorpora los principios de la presente invención;

[034] La FIG. 2 es un esquema general de flujo de una operación de procesamiento de escoria y continuación de la FIG. 1 que tiene un horno de recuperación que tiene un sistema de combustión de oxígeno-combustible incorporando los principios de la presente invención;

[035] La FIG. 3 es un ejemplo de un tren de abastecimiento de gas natural y un tren de abastecimiento de oxígeno para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

24

[036] La FIG. 4 es un esquema general de planta que muestra el abastecimiento de oxígeno de una planta criogénica, y el flujo a los hornos, y además ilustra un ejemplo de una planta de recuperación de calor de desecho;

[037] La FIG. 5 es una ilustración esquemática de un horno de fundición de aluminio para usar con un sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con los principios de la presente invención;

[038] La FIG. 6 es una vista lateral del horno de la FIG. 5;

[039] La FIG. 7 es una vista frontal del horno de la FIG. 6;

[040] Las FIGS. 8 y 9 son ilustraciones parciales de sección transversal de una pared lateral y del piso del horno respectivamente;

[041] La FIG. 10 ilustra un ensamblaje quemador para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

[042] La FIG. 11 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema de control para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible de la presente invención;

[043] La FIG. 12 es una vista esquemática de un ejemplo de una pared de una caldera de energía u horno que ilustra un quemador y un arreglo alimentado por aire y muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención;

[044] LA FIG. 13 es una ilustración esquemática de un incinerador de desechos que muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

[045] Si bien la presente invención puede ser realizada en diferentes formas, en las figuras se muestra y en adelante se

describirá una forma de realización preferida, entendiéndose que la presente revelación ha de ser considerada como una ejemplificación de la invención y no tiene el propósito de limitar la invención a la forma de realización ilustrada. Se ha de entender además que el título de esta sección, "Descripción Detallada de la Invención", se refiere al requisito de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos y no implica ni se debe inferir una limitación al asunto revelado aquí.

[046] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible usa esencialmente oxígeno puro en combinación con una fuente de combustible para producir calor mediante producción de llama (es decir combustión) de una manera eficiente no-adversa en términos medio-ambientales. Se puede usar oxígeno, que es abastecido por un agente oxidante, en una concentración de aproximadamente 85 por ciento a 99+ por ciento, sin embargo es preferible tener una concentración de oxígeno (es decir una pureza de abastecimiento de oxígeno) tal alta como sea posible. En tal sistema, oxígeno de alta pureza se alimenta, conjuntamente con la fuente de combustible en proporciones estequiométricas, a un quemador en un horno. El oxígeno y el combustible se ponen en combustión para liberar la energía almacenada en el combustible. Para los propósitos de la presente revelación, la referencia al horno se ha de interpretar en términos amplios para que incluya cualquier generador de calor industrial o comercial que haga combustir combustibles fósiles (basados en carbono). En un sistema preferido la concentración o la pureza del oxígeno es tal alta como sea posible con el fin de reducir la producción de gases invernadero.

[047] Se ha contemplado que se pueda usar esencialmente cualquier fuente de combustible. Por ejemplo, en una aplicación presente, como se describirá abajo en más detalle, el oxígeno es alimentado conjuntamente con gas natural para la combustión en el horno. Otras fuentes de combustible contempladas incluyen petróleos refinados y de desecho, madera, car-

bón, polvo de carbón, desechos de basura, etc. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán las miríadas de fuentes de combustible que se pueden usar con el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible.

[048] El presente sistema se aparta de los procesos convencionales en dos áreas principales. Primero, los procesos de combustión convencionales usan para la combustión aire (como agente oxidante para abastecer oxígeno) y no oxígeno esencialmente puro. En la combustión se usa el componente de oxígeno en el aire (aproximadamente 21 por ciento), mientras que los restantes componentes (esencialmente nitrógeno) son calentados en el horno y expulsados de él. Segundo, el presente proceso usa oxígeno en una proporción estequiométrica respecto al combustible. Es decir únicamente se alimenta suficiente oxígeno en proporción al combustible para garantizar la completa combustión del combustible. Así, no se alimenta "exceso" de oxígeno al sistema de combustión.

[049] Usando el presente sistema de combustión se logran muchas ventajas y beneficios. Tal como se describirá abajo, se ha observado que el consumo de combustible para producir una cantidad equivalente de energía o de calor se reduce en ciertas aplicaciones hasta en un 70 por ciento. Significativamente esto puede proporcionar una tremenda reducción en la cantidad de contaminación resultante. También, en ciertas aplicaciones, la emisión de NOx puede reducirse esencialmente a cero y la emisión de otros gases invernadero puede ser reducida hasta en un 70 por ciento respecto a sistemas de combustión convencionales alimentados por aire.

Un Ejemplo de Proceso de Recuperación de Aluminio del Retal

[050] En un uso específico, el sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa en una planta 10 de recuperación de aluminio del retal. En las FIGS. 1 y 2 se ilustra un proceso de flujo de un ejemplo de planta. Retal de aluminio, general-

mente señalado como 12, se alimenta al horno de fusión 14 y se licúa. La planta 10 puede incluir múltiples hornos que operan en paralelo 14, uno de los cuales se ilustra. El aluminio licuado o fundido se retira del horno de fusión 14 y se alimenta a un horno de almacenamiento temporal 16. El horno de almacenamiento temporal 16 también es un horno de oxígeno-combustible. El aluminio fundido se retira del horno de fusión 14 a medida que va siendo necesario para mantener cierto nivel predeterminado en el horno de almacenamiento temporal 16. Esto puede resultar en un continuo retiro del horno de fusión 14 o retiro en "lotes" según se requiera.

[051] Al horno de almacenamiento temporal 16 se alimentan cloro y nitrógeno (como gas) según se indica en 18 y 20 respectivamente con el fin de facilitar el retiro de las impurezas del aluminio fundido. El cloro y el nitrógeno funcionan como agente gaseoso de flujo para retirar las impurezas del aluminio. Esto también se puede efectuar en los hornos de fusión 14 para aumentar la limpieza del retal aceitoso y sucio. Otros agentes de flujo contemplados incluyen hexafluoruro de argón gaseoso. El horno de almacenamiento temporal 16 se calienta activamente y funciona a una temperatura de metal fundido de aproximadamente 704°C. La temperatura del aire en el horno de almacenamiento temporal 16 es levemente más alta.

[052] Luego se filtra el aluminio fundido. Ahora se usa un filtro particulado 22 tipo bolsa. No obstante se conocen otros tipos de filtros y se pueden usar. El aluminio fundido filtrado se alimenta luego a través de un desgasificador 24.

[053] En el desgasificador 24 se alimenta un agente de flujo, tal como un gas inerte (de nuevo se usa nitrógeno, según se indica en 26) al aluminio fundido. Se agita el aluminio fundido, por ejemplo mediante un agitador mecánico 28 y el agente de flujo 26 burbujea hacia arriba a través del aluminio

fundido para eliminar las impurezas (por ejemplo óxidos) del aluminio.

[054] Después el aluminio fundido se alimenta en un moldeador 30 en línea. En el moldeador 30 el aluminio es moldeado para formar una placa continua. El espesor del molde puede ser de 0,0254 cm hasta 1,905 cm o más. Luego el aluminio puede ser enrollado como se indica en 32 para ser usado o para ser procesado adicionalmente. En un presente método el aluminio pasa desde el moldeador 30 a través de un par de rectificadoras 34 calientes en donde la placa es laminada para que tenga un espesor final o calibre de aproximadamente 0,21 cm (82 mils) y luego se enrolla para formar el rollo 32. Las personas con experiencia en este campo de la técnica entenderán y apreciarán los varios procesos de formación y terminado final que se le pueden efectuar al metal. Todos esos procesos de formación y terminado están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[055] Volviendo ahora al horno de fusión 14, éste es un horno de oxígeno-combustible. El es alimentado con un combustible basado en carbono, por ejemplo gas natural, en proporción estequiométrica con oxígeno. Esto se diferencia de los hornos conocidos que usan mezclas de aire y combustible. Las mezclas de combustible y aire alimentan tanto nitrógeno como oxígeno al horno para respaldar el proceso de combustión. Esto resulta en la producción de gases de desecho de NOx indeseables. Además, el nitrógeno también absorbe energía del aluminio fundido, reduciendo entonces la eficiencia total del proceso. O sea que debido a que el porcentaje de nitrógeno en el aire es tan grande, una gran cantidad de energía se va calentado el nitrógeno y no el aluminio.

[056] Las proporciones oxígeno:gas natural en los presentes hornos de fusión y de almacenamiento 14 y 16 son aproximadamente 2,36:1. Esta proporción variará dependiendo de la pureza

del abastecimiento de oxígeno y de la naturaleza del combustible. Por ejemplo, bajo condiciones perfectas de oxígeno 100 por ciento puro se calcula teóricamente que la proporción sea 2,056:1. Sin embargo, el abastecimiento de oxígeno puede tener hasta aproximadamente 15 por ciento de constituyentes que son no-oxígeno y el gas natural no es siempre 100 por ciento puro. Por lo tanto, las personas con experiencia en esta campo de la técnica apreciarán y comprenderán que estas proporciones puede variar levemente, pero la base para calcular las proporciones, o sea las proporciones estequiométricas de combustible y oxígeno, sigue siendo verdadera.

[057] Esta proporción de oxígeno respecto a combustible proporciona varias ventajas. Primero, esta estequiometría proporciona completa combustión del combustible, resultando así en menos monóxido de carbono, NOx y otras emisiones nocivas de gases de desecho (generalmente otros gases invernadero). Además, las proporciones de oxígeno controladas también reducen la cantidad de óxidos presentes en el aluminio fundido. Esto, a su vez, proporciona una mejor calidad del producto de aluminio final y menos procesamiento para eliminar estos contaminantes óxidos indeseables.

[058] Es importante anotar el hecho de que controlar con exactitud la proporción de oxígeno respecto a combustible garantiza la combustión completa del combustible. Esto en absoluto contraste con, por ejemplo, las plantas de energía alimentadas fósilmente (por ejemplo las plantas de energía utilitaria), que luchan con la pérdida de ignición. Esencialmente la pérdida de ignición es equiparable con una combustión incompleta del combustible. En el presente método, por otra parte, el oxígeno substancialmente puro y en proporción estequiométrica estrictamente controlada respecto al combustible minimiza y posiblemente elimina esas pérdidas. Además, en el presente método el único NOx teórico disponible es N Ox contenido por el combustible y no el que de otra manera podría resultar

de la combustión al utilizar aire. Así, si el NOx no es eliminado completamente sí es reducido a una cantidad insignificante en comparación con los sistemas de combustión convencionales.

[059] Los óxidos en el aluminio provienen de dos fuentes principales. Primero, del proceso de combustión; segundo, de óxidos que residen en el aluminio. Esto es así particularmente con retal de bajo grado o con metal primario. El presente proceso toma en consideración estas dos fuentes de óxidos y reduce o elimina su impacto sobre el producto de aluminio final. Primero, el presente proceso reduce los óxidos que se podrían formar como resultado del oxígeno alimentado para la combustión del combustible. Esto se logra controlando rigurosamente el oxígeno alimentado para que sea únicamente el necesario por proporción estequiométrica para la completa combustión del combustible.

[060] El presente proceso toma en consideración la segunda fuente de óxidos (la que reside en el aluminio) y elimina estos óxidos mediante los procesos de desgasificación y filtrado. Los beneficios son de dos. El primero es que se forma menos producto secundario en forma de escoria D; segundo, se mejora grandemente la calidad del producto terminado.

[061] Se ha encontrado también que usar una mezcla de combustible y oxígeno (y no una mezcla de combustible y aire) resulta en temperaturas de llama más altas en el horno de fusión. Usando oxígeno-combustible se logran temperaturas de llama en el horno de aproximadamente 2760°C. Esto representa aproximadamente 816°C a 1093°C más altas que otros hornos conocidos. También se ha observado que usando oxígeno-combustible, conjuntamente con estas temperaturas de llama más elevadas, resulta en un proceso de eficiencia sumamente alta. En una medida de la eficiencia se mide la energía requerida (en Joules) por kg de aluminio procesado. En un proceso cono-

cido la energía requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg de producto procesado. En el presente proceso y aparato los requerimientos de energía son considerablemente menores, aproximadamente $2,52 \times 10^6$ J/kg de metal procesado. Hay que anotar también que aunque el "combustible" mencionado arriba en referencia al presente método es gas natural, se puede usar cualquier combustible de base orgánica, por ejemplo petróleo (incluyendo petróleo de desecho), carbón, polvo de carbón, etc.

[062] Para el propósito de entender la termodinámica del proceso, la energía teórica requerida para fundir una kilogramo de aluminio es $1,17 \times 10^6$ J. Sin embargo, debido a que son inherentes ineficiencias específicas al proceso, se encontró que la energía real requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg al usar un sistema de combustión activado por aire. Estas ineficiencias incluyen, por ejemplo, el hecho de que los períodos de procesamiento reales son menores que el tiempo real que el horno está "activado" y otros cambios a lo largo del proceso, tales como aumentos o disminuciones de la anchura de moldeado. Además otras "pérdidas", tales como pérdidas de calor de escape y pérdidas de calor a través de las paredes del horno, se agregan a esta diferencia de energía.

[063] Además, el valor de $2,52 \times 10^6$ J/kg es un requisito de energía promedio, incluso tomando en cuenta estas "pérdidas". Se ha encontrado que cuando el proceso corre a una alta tasa de eficiencia, esto es cuando el aluminio se procesa casi continuamente en vez de mantener el horno "activado" sin procesamiento, el requisito "promedio" de energía se puede reducir hasta aproximadamente $1,74 \times 10^6$ J/kg a $2,1 \times 10^6$ J/kg.

El Horno de fusión

[064] Un presente horno de fusión 14 se construye principalmente de acero y materiales refractarios. Haciendo referencia a las FIGS. 5-9, el armazón 42 del horno tiene dimensiones exteriores de aproximadamente 6,1 m de ancho por 12,2 m de

largo por 3,66 m de altura. La estructura del armazón de acero 42 está formada por placas y vigas. Las placas y las vigas se identifica como 44 y 46 respectivamente para la armazón 42 del horno, excepto si se indica otra cosa distinta. El piso 48 está hecho en placas 44 de acero de 2,54 cm de espesor que están soldadas entre sí. Cada soldadura está sobre una viga 46 para garantizar la integridad del armazón 42 del horno.

[065] Se proporcionan vigas 46 adicionales para soporte del piso 48 del horno. Cada viga 46 proporciona una pestaña de 8 pulgadas de ancha aproximadamente cada 45,7 cm respecto al centro. Todas las vigas 46 (exceptuando las vigas de junta que tienen completamente soldadura de unión) están apuntadas a la placa 50 del piso. Esto permite "crecimiento" en el acero debido a la expansión térmica durante el calentamiento.

[066] Las vigas 46 proporcionan soporte y rigidez al piso 52 del horno. Las vigas 46 mantienen el horno 14 rígido para reducir el flexionamiento durante la instalación del material refractario y durante el uso a largo plazo. Las vigas 46 también proporcionan soporte de modo que durante el funcionamiento del horno 14 se minimiza la carga mecánica sobre los materiales refractarios. Las vigas 46 también elevan el piso 52 del horno del piso sobre el que está montado el horno 14. Esto permite el escape del calor que se forma debajo del horno 14.

[067] Las paredes laterales 54 del horno también están hechas de placa de acero y construcción de vigas. Se identifican dos regiones de pared, arriba de la línea del metal y debajo de la línea del metal. Esta diferenciación se hace por consideraciones tanto de resistencia como de valor térmico.

[068] Debajo de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,9 centímetros. Arriba de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,6 centímetros. En el presente horno, se considera (para propósitos de diseño) que los primeros 2,44 m están por debajo de la línea del metal y se considera (para

propósitos de diseño) que los 1,22 m superiores están arriba de la línea del metal.

[069] Las vigas 46 se usan para sostener las paredes laterales 54 del horno 14. Las vigas 46 están colocadas en líneas centrales de 45,7 cm que corren verticalmente a lo largo del horno 14. Las vigas horizontales 46 están colocadas en centros de 45,7 cm debajo de la línea del metal y en centros de 61 cm arriba de la línea del metal. Aunque la línea del metal en el horno 14 varía, ella es (por consideraciones de diseño) el nivel más alto de metal que habrá en el horno 14 durante el funcionamiento normal. Se pueden considerar factores adicionales en los que, por ejemplo, se puede asumir que la línea del metal esté 22,9 cm arriba de la línea de llenado máximo del horno 14.

[070] El techo 56 del horno 14 es un diseño refractario colgante. Las vigas 46 están en centros de 45,7 cm por toda la anchura del horno 14. Vigas adicionales 46 están soldadas a las vigas que se extienden por toda la anchura y dichas vigas adicionales están orientadas por todo lo largo del horno 14. Se han montado ganchos sujetadores a las vigas, a las cuales se han montado bloques refractarios premoldeados.

[071] El horno 14 tiene dos puertas principales 58 en el lado 54. Las puertas 58 se usan durante el funcionamiento para limpiar o para quitar la superficie del contenido de la cámara principal de calor o área de baño 60 y para cargar dicha cámara 60. Dentro del horno 14 se forma escoria D (la escoria contaminante que constituye la superficie del aluminio fundido) y debe ser quitada al menos una vez al día para mantener los porcentajes de transferencia de calor. La escoria D se elimina abriendo las puertas 58 y quitando ("desnatando") la superficie del pozo de metal fundido.

[072] Aunque durante el funcionamiento típico se coloca metal o retal en el pozo de carga 62 y luego se funde y se

transfiere a la cámara de calor 60, en el caso de algunos tipos de retal como bloques o lingotes, es mejor colocarlos directamente en la cámara principal de calor 60. Las puertas 58 se pueden abrir para transferir estos tipos de cargas a la cámara de calor 60.

[073] Las puertas 58 son de acero y construcción refractaria. Las puertas 58 se cuelgan en un sistema de polea mecánica (no mostrado) y se protegen mediante cadenas de seguridad para evitar que caigan al piso en caso de que falle el sistema de poleas. Para operar las puertas se usan cabrestantes eléctricos. Las puertas 58 se cuelgan de un miembro común de cruz que está sostenido del lado 54 del horno 14.

[074] El pozo principal de carga 22 está ubicado en el frente 64 del horno 14. El pozo 62 está separado de la cámara de calor 60 del horno y dividido en dos áreas: un área de carga 66 y un área de bomba de circulación 68. Una bomba de circulación 70 hace circular el metal del pozo caliente de metal fundido en la cámara principal 60 al área de carga de retal 62.

[075] Hay tres aberturas 72, 74 y 76, entre las cámaras 60, 66 y 68. La primera abertura 72 está en la división entre la cámara principal y el pozo de bombeo 68. La segunda abertura 74 está en la división entre el pozo de bombeo 68 y el área de carga de retal 68. La tercera abertura 76 está en la división entre el pozo de carga 66 y la cámara principal de calor 60.

[076] Todas las aberturas 72, 74 y 76 están aproximadamente 30,5 cm por debajo de la línea física o real de metal del horno 14. Las aberturas 72, 74 y 76 están debajo de la línea del metal para mantener el calor dentro de la cámara principal y evitar el flujo de óxidos entre las áreas divididas del horno 14 y para mantener el horno hermético al aire (es decir para mantener un medio ambiente controlado dentro del horno 14). La bomba 70 está ubicada en un área elevada para evitar que de-

ntro y alrededor de la bomba 70 se acumule excesivo desecho, rocas y retal.

[077] Una campana exhosto 78 está posicionada arriba de la cámara de carga 66. La campana está hecha en acero y está montada en vigas 46 similares a aquellas de las cuales están hechas las paredes laterales 54. Las vigas 46 están posicionadas en una placa que cubre la pared lateral del pozo, esencialmente tapándolo. La campana 78 ventila la cámara principal 60 del horno a través de cañón 80 (ver FIG. 4). El cañón 80 expulsa gases del horno 14 y puede cerrarse para mantener la presión en el horno 14.

[078] Los gases de escape salen del horno 14 y pasan a un filtro tipo bolsa 82 (FIG. 4). El filtro tipo bolsa 82 se usa principalmente para recoger el carbón no-quemado de pinturas, aceites, solventes, etc. inherentes al procesamiento de retal de aluminio.

[079] El horno 14 incluye cuatro quemadores 84 de oxígeno-combustible. Los quemadores 84 están instalados en una pared lateral 54 del horno 14 opuesta a las puertas 58. Se ha hecho una construcción de acero que circunda los quemadores 84 para permitir el montaje de los quemadores 84 y mantener rígida la pared circundante.

[080] El horno 14 está forrado con materiales refractarios. El piso 48 está hecho de dos materiales refractarios distintos. El primer material 86 es un concreto vertido, aproximadamente 15,24 cm de espesor, de alta resistencia, moldeable refractario, como por ejemplo AP Green KS-4, que forma una sub chimenea. Un material 88 para piso se vierte arriba de la sub chimenea 86 de modo monolítico con un espesor de aproximadamente 33 cm a 36 cm. El material 88 para piso es un material refractario AP Green 70AR. Es un material refractario moldeable constituido en un 70 por ciento de alúmina.

[081] Las paredes 54, 64 y 65 están hechas de dos capas de aislamiento 90 seguido por el material refractario 92 compactado plástico 70 AR moldeable o monolítico 85 por ciento alúmina adherido por fosfato (MONO P85). El contenido de alúmina del material es 85 por ciento. El aislamiento 90 de refuerzo es plancha aislante de aproximadamente 5,1 cm de espesor en las paredes laterales 54 del horno y de aproximadamente 7,6 cm de espesor en las paredes frontal y trasera 64 y 65 del horno. La diferencia de espesor del aislamiento 90 es para acomodar la expansión térmica del horno 14. Las paredes 54, 64 y 65 del horno crecerán aproximadamente 0,0104 cm por cm lineal. Así, el horno 14 crecerá (a lo largo de la longitud de 12,2 m) un total de aproximadamente 12,7 cm. Habiendo 15,24 cm de aislamiento 90 de refuerzo (tanto el del frente como el de atrás tienen 7,6 cm), el aislamiento 90 se aplastará y permitirá el crecimiento en las paredes 54, 64 y 65 del horno sin dañar el armazón d42 del horno.

[082] Entre la plancha aislante 90 aplastable y el material refractario 92 moldeado se ha colocado ladrillo aislante. El techo 56 está hecho en un 70 por ciento de material refractario moldeable de alúmina. El material se vierte en seis secciones de techo. Cada marco de puerta 58 está hecho en un 70 por ciento de material refractario AR de alúmina.

[083] El horno 14 tiene dos conjuntos de bloques vacíos (no mostrados). El primer conjunto está posicionado en el piso 52 del horno y sirve como bloques de drenaje. Un segundo conjunto de bloques está posicionado a 41 cm del piso del horno y sirve como conjunto de bloques de transferencia. Los bloques de transferencia están colocados en el exterior del horno para facilitar el reemplazo. Se forma el interior del horno y los bloques son dispuestos en el exterior y asentados con un adhesivo plástico.

[084] Hay dos rampas (no mostradas) en el horno, una en cada puerta principal de carga 58. Las rampas se usan para "desnatar" la escoria D del metal fundido y para permitir que el retal de aluminio se deslice hacia dentro del horno. Las rampas se componen de dos materiales. La base es un ladrillo resistente de aluminio de bajo grado, apilado para formar una rampa. El ladrillo se cubre con un material refractario moldeable (aproximadamente 45,7 cm de espesor), como por ejemplo el material 70AR. La rampa se extiende desde el borde del umbral hacia dentro del horno.

[085] La pared 96 que separa la cámara principal 60 del horno y el pozo de carga 62 tiene aproximadamente 56 cm de espesor y está hecha en material 70AR. La pared 96 está moldeada como una estructura monolítica individual.

[086] El horno 14 puede operar en varios modos desde vacío hasta conteniendo y manteniendo aluminio fundido. Cuando el horno 14 se encuentra en funcionamiento pico está lleno aproximadamente en un 80 a 90 por ciento. El metal fundido está aproximadamente a 760°C y la temperatura del aire en el horno es de aproximadamente 982°C. La temperatura de escape es aproximadamente 538°C. La temperatura del aire es medida por un termopar 98 en el lado superior de la pared 54 del horno 14. La temperatura del metal se mide en la base de la comba de circulación 70.

[087] El retal se carga en el horno por el pozo de carga 62 en incrementos de aproximadamente 1360,77 kg. Se entiende que el tamaño o peso del retal introducido varía dependiendo del tamaño y de la capacidad del horno 14.

[088] Desde la cámara principal 60 se bombea mediante la bomba de circulación metal fundido sobre la carga de metal frío. El metal fundido transfiere calor mediante conductividad a la carga de metal frío. La carga de metal se calienta rápidamente y se funde.

[089] El modo principal de transferencia de calor al aluminio recién cargado es por conductividad. La gran pileta de calor proporcionada por el horno lleno mejora este eficaz método de transferencia de calor. Cuando el horno está lleno en un 80 a 90 por ciento de su capacidad hay aproximadamente 99790 kg de aluminio fundido a una temperatura aproximadamente 760°C. Cuando se carga el retal en el horno 14, el baño actúa como pileta de calor y proporciona la energía necesaria para la transferencia de calor al metal recién cargado. Esto es cierto sin importar las dimensiones y la capacidad del horno, el cual aquí está adaptado al presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. La bomba de circulación 70 ayuda en la fusión del metal proporcionando metal fundido caliente al pozo de carga 62 desde la cámara principal 60 del horno. Además, mediante la circulación del metal fundido se mantiene baja la estratificación de calor por todo el horno 14.

[090] Se ha encontrado que mediante el bombeo o la circulación del metal fundido, la diferencia de temperatura entre la parte superior y el piso del horno (una diferencia de altura de aproximadamente 107 cm) es únicamente de unos cuantos grados centígrados. Así, el horno 14 actúa como una pileta de calor estable para proporcionar una fuente de calor consistente para la conducción de transferencia de calor al metal recién cargado.

[091] EL calor es aportado al horno 14 por los quemadores 84. Se cree que el principal modo de transferencia de calor al horno 14 es radiación, con alguna transferencia convectiva de calor. Debido a las altas temperaturas de llama, el sistema de combustión de oxígeno y combustible proporciona eficiente transferencia radiativa de calor. Además la geometría del horno 14 está diseñada para aumentar la cantidad de transferencia de calor maximizando el área de la superficie del metal sobre la cual ocurre la transferencia de calor de la llama al metal.

[092] Además, los materiales refractarios por encima de la línea del metal están hechos de un material con alto contenido de alúmina. Estos material reflejan el calor de los quemadores nuevamente hacia el metal fundido. Esto está en contraste con los diseños de hornos convencionales que más que reflejar el calor nuevamente hacia el pozo de metal fundido permiten que mucho del calor se escape del horno.

[093] Por ejemplo los hornos tradicionales usan materiales refractarios que tienen un bajo contenido de alúmina y alto valor de aislamiento en las paredes laterales superiores. El presente diseño, al contrario, usa materiales refractarios de alto contenido de alúmina para que se refleje más el calor radiativo de los quemadores 84 hacia el área del baño 60. Esto es contrario al diseño de hornos convencionales. En los hornos tradicionales las paredes laterales inferiores (definidas como estando por debajo de la línea del metal) usan para resistencia materiales refractarios de alto contenido de alúmina. En contraste, el presente diseño usa un material refractario moldeable de bajo contenido de alúmina, el cual es más avanzado y tiene un mayor valor aislante. En cierto sentido el presente diseño es completamente opuesto a la aplicación tradicional de materiales refractarios.

[094] Además, debido a que no se alimenta nitrógeno al horno 14 (a no ser el contenido por el combustible), el volumen de gases calientes (por ejemplo de escape) que pasan por el horno 14 es muy bajo. Ventajosamente, esto aumenta el tiempo de residencia de los gases en el horno 14 proporcionando oportunidad adicional para la transferencia de calor al metal fundido. La transferencia de calor convectiva, a pesar de ser relativamente baja, es más eficiente que en los hornos convencionales. Como los gases calientes en el presente horno 14 se aproximan a los 2760°C y tienen un tiempo de residencia relativamente largo, gran parte del calor ha sido removido antes del escape.

[095] Un presente horno 14 opera con una entrada de energía requerida para fundir de aproximadamente 2,52 J por kg. La entrada máxima de calor al horno 14 es aproximadamente $7,7 \times 10^6$ watts, y la entrada típica de calor es aproximadamente $1,93 \times 10^6$ watts a $2,32 \times 10^6$ watts. La entrada de calor dependerá obviamente del retal que está siendo fundido y de los requerimientos de producción. El horno es capaz de fundir hasta 18144 kg por hora.

El Sistema de Combustión

[096] El sistema de combustión, indicado en la FIG. 3, generalmente como 100, es un tren de combustión dual que funciona con una fuente de combustible (por ejemplo gas natural, fuel-oil, petróleo de desecho, carbón pulverizado o licuado) y una fuente de oxígeno. El sistema está diseñado como dos sistemas de combustión completos para facilitar el mantenimiento y conservar la energía durante los períodos de poco uso. En la FIG. 3. Se muestran un tren de oxígeno 102 y un ejemplo de tren de combustible de gas natural 104.

[097] El sistema de combustión 100 es controlado por un sistema de control (ilustrado en la FIG. 11 e indicado generalmente como 120) que incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 106 que monitorea todos los datos de entrada de temperatura del metal, temperatura del aire, flujo de combustible y de oxígeno, y proporciona un interfaz operatorio. Cada tren de combustión puede ser operado individualmente o en conjunto sobre la base de las condiciones y los requerimientos de funcionamiento.

[098] La principal variable de entrada del proceso usada para controlar el sistema de combustión 100 es la temperatura del baño de metal, que es medida por el termopar 108. Entre las variables alternativas de entrada del proceso están las señales de uno de varios sensores de la temperatura del aire 98 y 110. El esquema de control incluye entradas de termopares

(tipo K) ubicados en la pared superior del horno, en el cañón de escape y en el techo del horno, indicadas generalmente con entradas 112. El termopar primario 108 está ubicado en el baño de metal fundido 60. Los termopares 112 para el aire están forrados con alúmina o material similar para proteger de la atmósfera al elemento medidor. El termopar 108 del baño está protegido del metal fundido mediante un forro cerámico que es resistente al calor y a las condiciones corrosivas encontradas en el metal fundido. El termopar 108 del baño está configurado para anunciar la iniciación del sistema quemador únicamente cuando la temperatura del baño de metal cae por debajo de un nivel pre-establecido.

[099] El termopar del escape o el termopar del techo 116 está diseñado para protección contra la sobre-temperatura. Este termopar 116 está conectado a un circuito de sobre-temperatura que apaga los trenes de combustión 102 y 104 para proteger la estructura del material refractario y el horno 14 en el caso de que se alcance un límite de sobre-temperatura.

[100] El termopar 98 de la pared superior se usa primariamente para monitorear la temperatura del aire del horno 14. También se puede usar para operar el horno 14 en ausencia del termopar 108 del baño fundido. El termopar 112 de la pared superior también se usa como una variable de entrada al proceso cuando el metal está siendo cargado por primera vez en el horno 14 o cuando el nivel del metal fundido cae por debajo del termopar 108 del metal fundido.

[101] Un operador tiene completo control sobre todos los puntos de establecimiento de temperatura individual. Un panel de control 118 incluye indicadores de temperatura para todos los termopares 98, 108, 110, 112, 114, 116. El operador puede ajustar cada uno de los puntos de establecimiento de termopar hasta que se alcancen los límites de funcionamiento. Los límites de los puntos de establecimiento operacionales pueden ser

establecidos internamente con la CPU de tal modo que se puede establecer cualquier margen deseado de temperatura.

[012] El sistema de control 120 del sistema de combustión está configurado en dos partes. La primera parte 122 incluye dispositivos de seguridad permanentes tales como relés, interruptores límite, etc. que serán identificados por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Entre estos dispositivos de seguridad están incluidos todos los interruptores de presión de gas, las válvulas de desconexión y bloqueo y los detectores de llama. La segunda parte 124 del sistema de control 120 son las funciones de monitoreo y control automático efectuadas por la CPU 106.

[103] Los trenes de gas 104 están configurados en pares de tal modo que un tren puede estar en servicio mientras que el otro está fuera de servicio, por ejemplo para mantenimiento o durante períodos de bajo uso o poca carga. Cada tren de gas 104 está dimensionado apropiadamente con respecto a los requerimientos de flujo de oxígeno. Cada tren de gas 104 comienza en un válvula de desconexión tipo balón 130. El conducto 32 enruta el gas a través de un filtro 134 para eliminar cualquier desecho presente en el tubo. Una línea piloto de gas 136 se extiende desde el conducto 132 después del filtro 134.

[104] Un regulador de contrapresión 138 se usa para disminuir la presión de cabecera. Ahora la presión de oxígeno está establecida en aproximadamente 124×10^3 Newton por metro cuadrado (N/m^2). Una válvula de desconexión 140 y varias válvulas de seguridad 142 siguen en línea. Un flujómetro 144 de presión diferencial está ubicado más debajo de las válvulas de seguridad 142. El flujómetro 144 mide la temperatura y la presión diferencial del gas a medida que este fluye a través de un orificio 146. El presente flujómetro 144 es un flujómetro de presión diferencia Rosemount modelo 3095.

[105] Mediante esta medidas se determina una cantidad de flujo y una señal es transmitida al sistema de control 120. Una válvula de control 148 está en línea siguiendo el flujómetro 144. En un presente arreglo, se usa una válvula moduladores de control que recibe una señal de salida del sistema de control 120. La válvula 148 transmite una señal al sistema de control 120 y específicamente a la CPU 106 indicando la actual posición de la válvula 148.

[106] El tren de gas 104 se parte entonces en dos conductos separadas 104a y 104b, cada uno de los cuales tiene una válvula 150a y 150b respectivamente. Las válvulas 150a y 150b se usan para balancear cada quemador 84 de tal modo que el flujo de gas se distribuya uniformemente.

[107] El tren de oxígeno 102 es similar al tren de gas 104, excepto que los tamaños de conducto y los componentes son más grandes para acomodar una cantidad mayor de flujo de oxígeno. En la FIG. 3 se ilustra un ejemplo de tren de oxígeno 102, en el cual los componentes que corresponden a los componentes del tren de combustible 104 están indicados mediante identificadores numéricos de la serie 200.

[108] Haciendo referencia a la FIG. 10, los quemadores 84 son de un diseño bastante sencillo. Cada uno de los cuatro quemadores 84 incluye un cuerpo principal de boquilla de entrada 152 que se extiende hasta dentro del horno 14. Una entrada de gas combustible 154 se extiende hasta el cuerpo de entrada principal 152 externo a la pared 54 del horno. Se alimenta oxígeno al cuerpo principal de boquilla de entrada 158 y este oxígeno se mezcla con el gas combustible. Un elemento encendedor (no mostrado) se extiende a través de una abertura central 156 en el cuerpo de entrada principal 152. El elemento encendedor proporciona una chispa para la ignición de la mezcla combustible/oxígeno.

[109] La operación del sistema de combustión 100 se efectúa fácilmente mediante una combinación de acción operadora de inicio y control automático por la CPU 106. A los sistemas de control se les proporciona energía que posibilita la función de la CPU 106 y de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122 del sistema de control 120. La CPU 106 inicia comunicación con las válvulas de control, los termopares y los relés que forman parte de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122. Los interruptores de presión de gas y oxígeno son de diseño doble alto/bajo. El interruptor de presión baja es normalmente una señal cerrada, mientras que el lado de alta presión es una señal normalmente abierta. La CPU 106 determina si está presente la señal apropiada y permite que el programa continúe. Si se identifica una señal inapropiada entonces se ponen en acción alarmas audibles y visuales. El esquema de control también monitorea si las válvulas de control de gas y oxígeno 148 y 248 están en la posición de "fuego bajo". Si las válvulas de control 148 y 248 están en la posición apropiada entonces se transmite una señal que permite que el sistema de control 120 continúe el procedimiento de arranque. La señal de sobre-temperatura también debe estar ausente para que el sistema 120 siga adelante con el procedimiento de arranque.

[110] Cuando se cumplen todas las condiciones de arranque, se inicia un ciclo de purga de nitrógeno. El nitrógeno se usa para purgar el horno 14 de todos los gases combustibles que hayan permanecido en el horno 14. A la purga de nitrógeno se le asigna un tiempo de tal modo que el volumen de nitrógeno por todo el horno 14 sea aproximadamente 2,5 veces el volumen del horno 14.

[111] Después de completada la purga, se arranca uno o los dos trenes de combustión. Un interruptor de control pone a funcionar ya sea un par de quemadores o todos los quemadores 84. Un controlador de llama abre los solenoides piloto. Nor-

malmente los solenoides piloto están cerrados, sin embargo al arrancar el funcionamiento los solenoides se abren y a través de un ensamblaje piloto fluye gas y oxígeno.

[112] En la punta del ensamblaje piloto los gases se mezclan y son encendidos por una chispa emitida controladamente por el controlador de llama. Al tener lugar la ignición un detector de llama 126 detecta la presencia o ausencia de llama y transmite una señal al sistema de control 120. Una vez que la llama ha sido detectada, el sistema de control 120 abre las principales válvulas de bloqueo tanto del gas como del oxígeno.

[113] Las principales válvulas de desconexión del combustible y del oxígeno 120 y 140 operan independientemente. Las válvulas de seguridad 142 y 242 están configuradas de tal modo que si la válvula de gas 140 no se abre, entonces las válvulas de seguridad 142 y 242 no se abren tampoco. Cuando la principal válvula de gas 140 se abre entonces se abren las válvulas de seguridad 142 y 242 del gas y del oxígeno. Con todas las principales válvulas de seguridad abiertas, un relé de control es energizado así como también una luz indicadora en el panel de control 118 para cada tren de gas. Un timer piloto permanece energizado durante un período predeterminado de tiempo, aproximadamente 30 segundos. Una vez transcurrido dicho período predeterminado de tiempo, se des-energiza el circuito piloto y se des-energizan las válvulas solenoides normalmente cerradas, aislando los ensamblajes piloto y la luz indicadora piloto para cada tren quemador.

[114] Los detectores de llama 126 monitorean permanentemente la llama. Al perderse la indicación de llama, una señal de alarma es transmitida a la CPU 106 y el circuito de control aísla las válvulas de desconexión del gas y del oxígeno 140 y 240 y las válvulas de bloqueo 142 y 242.

[115] Una vez que el piloto ha sido des-energizado, el sistema de control 120 asume la operación automática del horno.

Mientras que el sistema 120 está puesto en "fuego bajo", las válvulas de control del oxígeno 248 se mantienen en la posición cerrada sin importar los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. Las válvulas de control del gas 140 no son limitadas en su margen de operación ya que el flujo de gas sigue al flujo de oxígeno. El sistema de control 120 mantiene el gas en la proporción pre-establecida.

[116] Cuando la operación tiene lugar en el modo automático, el sistema de control 120 responde a las desviaciones de los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. La temperatura del horno es monitoreada y ajustada correspondientemente al punto de establecimiento de temperatura. Cuando la temperatura del proceso se desvía de la temperatura del punto de establecimiento, entonces se genera una señal de error y el sistema de control 120 transmite una señal a la válvula de control del oxígeno 248. El sistema de control 120 también controla la válvula de control del gas 148; la variable del punto de establecimiento sigue la cantidad de flujo (correlacionada estequiométricamente) de oxígeno tal como la establece el flujómetro de oxígeno. El sistema de control está configurado para limitar las válvulas de control 148 y 248, las cuales a su vez limitan la energía de salida de los quemadores 84.

[117] El sistema de combustión 100 y específicamente el sistema de control 120 pueden estar configurados para satisfacer cualquier aplicación deseada para y en cualquier industria que dependa de combustibles basados en carbono. Por ejemplo, en la presente planta procesadora 10 de retal de aluminio, hay tres aplicaciones o usos del sistema de combustión de oxígeno y combustible 100. El primero es para fundir aluminio en un medio ambiente de alta producción (es decir en el horno de fusión 14). Segundo, el sistema 100 está presente en el horno de almacenamiento 16 primariamente para temperatura de estado permanente y mezcla de aleaciones del aluminio fundido. La úl-

tima aplicación es en un horno de fusión de escoria 166 en el que se usan quemadores de alta temperatura para liberar las unidades de metal (aluminio que puede recuperarse para la producción) de la escoria D (producto secundario fundido) mediante choque térmico. En cada uso, los quemadores están instalados por razones de conservación de energía y ambientales.

[118] Las aplicaciones del presente sistema de combustión 100 varían según la salida térmica (medida en máximos watts), el tamaño y la orientación de los quemadores 84, así como también la temperatura a la cual están diseñados para funcionar los hornos 14, 16 y 166. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que se requieren diferencias mecánicas (por ejemplo tamaños de los conductos, etc.) para acomodar estas diferentes necesidades, y que la programación específica del sistema de control 120 y de la CPU 106 puede variar.

[119] El presente sistema de combustión 100 proporciona varias ventajas respecto a los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Por ejemplo, se ha demostrado mediante el funcionamiento que hay ahorros considerables de energía usando el presente sistema de combustión 100. Los quemadores 84 de oxígeno-combustible operan a una temperatura mucho más elevada que los hornos convencionales. De este modo, se ha observado que hay un aumento del calor disponibles para la fusión (en otras aplicaciones industriales este aumento de calor se puede utilizar por ejemplo para generación de vapor, incineración de desechos, etc.). Esto proporciona una reducción en la cantidad de combustible requerido para operar los hornos 14, 16 y 166. En la práctica de la presente invención se ha observado que la entrada térmica promedio (y la calculada) requerida por libra de aluminio fundido ha disminuido de aproximadamente $8,4 \times 10^6$ J por kg (en un horno convencional) hasta aproximadamente 2,52 J por kg en el horno de fusión 14. Esta es una reducción de aproximadamente 70 por ciento. Ade-

más, se ha demostrado que el combustible necesitado para mantener la temperatura en el horno de almacenamiento 16 es aproximadamente la mitad del necesitado en un horno convencional.

[120] Los ahorros de combustible se atribuyen a tres factores principales. Primero, el aumento de calor del sistema de combustión 100 permite quemar todo el combustible sin que haya exceso de oxígeno. Segundo, ateniéndonos a la teoría, se cree que el sistema de combustión 100 opera dentro de una zona de transferencia de calor radiativa (o radiante), con alguna transferencia de calor por conductividad.

[121] El sistema 100 está diseñado para aprovechar la transferencia de calor radiante dentro de los hornos 14, 16 y 166 para transferir calor eficientemente a los baños de metal. Tercero, debido a que no hay nitrógeno en el proceso de combustión, la cantidad de gas que fluye a través de los hornos 14, 16 y 166 es baja. Así, un aumento del tiempo de residencia de los gases calientes permite la liberación de una mayor proporción de energía (en forma de calor) antes del escape de los hornos 14, 16 y 166.

[122] El volumen típico de gas de escape es una fracción de aquel de los hornos convencionales. Habiendo aproximadamente 80 por ciento menos de gases (esencialmente el componente de nitrógeno del aire) en el horno de oxígeno-combustible, se aumenta grandemente la eficiencia de la combustión. En los hornos convencionales el componente de nitrógeno del aire absorbe gran parte de la energía (en forma de calor) de la masa fundida. En el presente sistema de combustión 100 se alimenta oxígeno (y no aire) y combustible a los hornos 14, 16 y 166 y se queman en una proporción estequiométrica. Esto se hace sin exceso de oxígeno. De este modo no hay energía absorbida por materiales no relacionados con la combustión (por ejemplo exceso de oxígeno o nitrógeno).

[123] El presente sistema de combustión 100 también proporciona aumento en la producción. Cuando se instala como parte de un horno de fusión, aumenta la capacidad de fusión o rendimiento. Esto también se atribuye a la rápida y eficiente transferencia de calor en el horno 14. Al introducir nuevo metal en el horno 14, el sistema de combustión 100 responde rápidamente para proporcionar calor para fundir el metal alimentado y mantener el calor (la temperatura) del metal fundido en el pozo 60 a la temperatura del punto de establecimiento. Se ha encontrado que el aluminio acepta calor muy eficientemente de una fuente de calor radiativa.

[124] Tal vez más importante es el reducido impacto medioambiental del presente sistema de combustión 100, en comparación con los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Ventajosamente el presente sistema de combustión 100 no usa nitrógeno (del aire) en el proceso de combustión. Típicamente la producción de NOx ocurre en un horno como producto de reacción del aire calentado que es alimentado por el sistema de combustión. Sin embargo, como el presente sistema 100 usa oxígeno y no aire, el NOx producido por el presente sistema de combustión se debe exclusivamente a la cantidad de nitrógeno elemental que hay en el combustible (es decir nitrógeno contenido en el combustible). Como los niveles de nitrógeno contenido por el combustible son sumamente bajos (en comparación con la cantidad de nitrógeno aportada por el aire en los hornos convencionales), los niveles de NOx del presente sistema de combustión están bastante por debajo de cualquier estándar industrial y de cualquier limitación gubernamental. Además de reducir la producción de NOx también se reduce grandemente la producción de otros gases invernadero como por ejemplo monóxido de carbono.

[125] Además del reducido impacto ambiental, el presente sistema de combustión de oxígeno y combustible conserva energía porque considerablemente más aluminio puede ser procesado

con considerablemente menos entrada de combustible (cualquier combustible basado en carbono, incluyendo carbón, polvo de carbón, gas natural o petróleo). Como resultado del procesamiento con menos utilización de combustible se logra la conservación de las fuentes de combustible. Esencialmente se usa menos combustible en total y también por kilogramo para producir aluminio. Esto reduce los costos de procesamiento (por ejemplo los costos de combustible) así como también el agotador uso de combustibles fósiles.

Abastecimiento de Oxígeno

[126] Como se darán cuenta las personas con experiencia en este campo de la técnica, los requerimientos de oxígeno para el presente sistema de combustión 100 pueden ser bastante elevados. Para tal fin, aunque el oxígeno se puede comprar, entregar y almacenar para el uso en el sistema, es más deseable tener una instalación de producción de oxígeno cerca del sistema de combustión de oxígeno-combustible o que forme parte de dicho sistema, tal como la planta procesadora de retal de aluminio ejemplarizada.

[127] Haciendo ahora referencia a la FIG. 4, se muestra una planta criogénica 180 para uso con el presente sistema de combustión 100. La planta criogénica 180 ejemplarizada ilustrada produce 105 toneladas al día de oxígeno de mínimo 95 por ciento de pureza y 1700 metros cúbicos estándar por hora de nitrógeno que tiene menos de 0,1 parte por millón de oxígeno. La planta 180 incluye un compresor 182 de tres niveles y $1,38 \times 10^6$ Watts. El aire comprimido a $4,89 \times 10^5$ N/m² entra a un purificador/expansor 184. El aire sale del expansor 184 a una presión de 4,76 N/m² y a una temperatura de -164°C, y entra a una columna de destilación criogénica 186. En la columna el aire es separado (destilado) en nitrógeno gaseoso, nitrógeno líquido, oxígeno gaseoso y oxígeno líquido. El oxígeno gaseoso, indicado generalmente como 188, es alimentado directamente

al sistema de combustión 100 y el oxígeno líquido, indicado generalmente como 190, se almacena por ejemplo en los tanques 191 para posterior uso en el sistema de combustión 100. La presión del oxígeno de la planta criogénica 180 puede ser menor que la requerida para el sistema de combustión 100. Como tal, un soplador de oxígeno 192 se posiciona entre la descarga de oxígeno de la columna 186 y la alimentación del sistema de combustión 100 para elevar la presión al nivel requerido para el sistema de combustión 100.

[128] El nitrógeno gaseoso, indicado generalmente como 194, es alimentado a un sistema de recocido/liberación de tensión situado corriente abajo (no mostrado) dentro de la planta 10. Estos sistemas, que usan nitrógeno para tratar aluminio para liberar la tensión en el metal y para recocer el metal, serán reconocidos por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Además, el nitrógeno 194 se usa en las unidades desgasificadoras 24. La planta 10 también incluye un abastecimiento de respaldo de oxígeno y de nitrógeno, 191 y 196 respectivamente, en forma líquida por ejemplo para el caso de un mantenimiento u otras situaciones en las que la planta criogénica 180 no pueda abastecer los requerimientos de la planta. Los sistemas de respaldo 191 y 196 están configurados para abastecer automáticamente oxígeno y/o nitrógeno según se requiera, por ejemplo cuando la planta criogénica 180 no está en funcionamiento. El exceso de nitrógeno se puede almacenar, envasar y vender. Sistemas como este están disponibles comercialmente donde varios fabricantes, por ejemplo Praxair Inc. de Danbury, Connecticut.

Recuperación de Calor

[129] El sistema de procesamiento de aluminio 10 también aprovecha el calor de desecho de los distintos procesos. Específicamente, la planta 10 puede incluir un sistema de recuperación del calor de desecho, indicado generalmente como 200 en

la FIG. 4. El gas de escape 202 del horno de fusión 14 y del horno del almacenamiento temporal 16 es dirigido hacia un lado de un intercambiador de calor de desecho 204. Como el gas de escape 202 está a una temperatura de aproximadamente 538°C, hay una considerable cantidad de energía que puede ser recuperada. Además se puede recuperar energía del exhosto arriba del área de baño 60 del horno principal.

[130] El gas de escape 202 es dirigido hacia el intercambiador de calor de desecho 204. Un fluido de trabajo 206, por ejemplo pentano, fluye bajo presión a través del otro lado del intercambiador de calor 204. Hay que decir que un intercambiador de calor tipo placa o un intercambiador de calor tipo placa y tubo son los más apropiados para esta aplicación. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán los varios tipos de fluidos de trabajo que pueden usarse para el presente sistema de recuperación de calor de desecho, así como también los sistemas de intercambio de calor que son usados con estos tipos de fluidos de trabajo. Todos esos sistemas están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[131] El fluido 206 calentado es dirigido entonces a un vaporizador 208, donde se permite que el fluido 206 se expanda convirtiéndose en vapor. El vapor 206 es dirigido a un conjunto turbogenerador 210 para producir electricidad. Luego se condensa el vapor en un condensador 212 y se devuelve al intercambiador de calor 204. Hay que decir que del gas de escape 202 de la planta procesadora de retal descrita arriba se puede recuperar suficiente energía para producir aproximadamente 1,5 a 2,0 megawatts de energía en forma de electricidad.

[132] Aunque se puede emplear una amplia variedad de fluidos de trabajo 206 para uso en un sistema de recuperación de energía de desecho o de calor de desecho 200, en un sistema actualmente contemplado se usa pentano como el fluido de trabajo

206. Dicho sistema basado orgánicamente proporciona varias ventajas respecto, por ejemplo, a los sistemas basados en vapor. Hay que decir que el fluido de trabajo 206 basado en pentano en un arreglo de ciclo Rankine estándar permitirá variaciones en el abastecimiento de vapor más fácilmente que un sistema basado en vapor. Como la producción de calor de los hornos (de fusión 14 y de almacenamiento 16) depende de la producción de metal y no de las necesidades eléctricas, es probable que la entrada de energía al sistema de recuperación 200 varíe y sea la característica controladora para la producción de energía. Como tal, un fluido 206 tal como el pentano proporciona la mayor flexibilidad que se requiere para tal sistema de recuperación 200.

[133] Como lo reconocerán las personas con experiencia en este campo de la técnica, la energía eléctrica generada puede ser usada para proporcionar parte de la energía necesaria para la planta 10 de procesamiento de retal, incluyendo la planta criogénica 180. La energía para operar la planta 10 puede ser proporcionada por un sistema de combustión de oxígeno-combustible empleado en una planta generadora de energía (usando un horno o quemador) para generar vapor para un conjunto turbogenerador de vapor. En tal arreglo, cuando la energía generada excede los requerimientos de la planta 10, el exceso de energía puede ser vendido por ejemplo a una instalación eléctrica local.

Procesamiento de Escoria.

[134] Haciendo referencia ahora a la FIG. 2, los contaminantes o escoria D del horno de fusión 14 se procesa ulteriormente, de forma separada y aparte de la recuperación en línea del aluminio, en un proceso de recuperación de escoria indicado generalmente como 164. La escoria D se elimina, por ejemplo mediante "desnatado", de la parte superior del pozo de aluminio fundido 60 en el horno de fusión 14. La escoria D se pren-

sa por medios mecánicos en una tasa tipo tamiz 168. La acción de prensado empuja el aluminio A de la escoria D a través de las aberturas 170 de la tasa 168. El aluminio A prensado de la escoria D se recupera y se devuelve al horno de fusión 14.

[135] La escoria cargada de óxido se alimenta al horno de recuperación 166 para recalentamiento. El horno de recuperación 166 es de un diseño similar al del horno de fusión 14 en cuanto usa un diseño de sistema de combustión de oxígeno-combustible 100. En la operación, sin embargo, el horno de recuperación 166 "somete a choque" al material cargado de escoria usando incidencia de llama directa cercana de aproximadamente 2760°C para liberar el metal de aluminio de la escoria D. La temperatura del baño fundido 172 en el horno de recuperación 166 es también considerablemente mayor, aproximadamente 788°C-816°C, con una temperatura del aire del horno de aproximadamente 1093°C-1204°C. Además el proceso de "choque" se efectúa en una atmósfera altamente reducida substancialmente sin exceso alguno de oxígeno dentro del horno 166 (en contraste con los hornos convencionales que operan con niveles de exceso de oxígeno de aproximadamente 3 a 5 por ciento).

[136] El horno de recuperación 166 también es "desnatado" y la escoria resultante se prensa. El aluminio recuperado A es transferido al horno de fusión 14. La escoria restante D2 se envía luego para procesamiento fuera del horno de recuperación a un procesador de escoria para adicional recuperación de aluminio. Se ha encontrado que el presente proceso, incluyendo el proceso de recuperación de escoria, proporciona un aumento significativo en la recuperación del metal. La escoria D2 que se envía en último término para procesamiento adicional es únicamente una fracción de la cantidad original de escoria D, con lo cual se reducen los costos del procesamiento y se aumenta la recuperación de aluminio.

[137] Es importante el hecho de que el presente proceso de recuperación de escoria 164 se efectúa sin uso de sales o de cualesquiera otros aditivos. Más bien, se usa el choque térmico para liberar el metal de los óxidos. Los procedimientos de recuperación conocidos usan sales para separar los óxidos del metal. Como la sal permanece en los óxidos, los cuales a su vez se desechan, entonces las sales también son en último término desechos. Estas sales pueden ser peligrosas y/o tóxicas para el medio-ambiente. Como tal, el presente proceso 164 es ambientalmente benéfico ya que elimina la necesidad de estas sales y por lo tanto su desechamiento.

[138] Respecto al esquema de procesamiento 164 total, también se ha encontrado que los presentes pasos de recuperación (por ejemplo el doble prensado con recalentamiento intermedio) resulta en cantidades de recuperación de aluminio significativamente mejoradas con respecto a las de los procesos conocidos, dependiendo del grado del retal. Se han logrado aumento multi-porcentuales en la cantidad de metal recuperada de la escoria D.

Otras Aplicaciones para el Sistema de Combustión

[139] Como se mencionó arriba, es evidente que se pueden lograr aumentos en la eficiencia usando oxígeno en todos los procesos continuos. Por ejemplo las plantas generadoras de energía pueden aumentar la temperatura de llama o reducir la pérdida de ignición (LOI) en los quemadores mediante la introducción de oxígeno a la fórmula de combustión (y no aire). Esto puede aumentar las eficiencias en la operación. Esencialmente la combustión de cualesquiera combustibles basados en carbono puede ser mejorada mediante la introducción de oxígeno. Los beneficios son tanto económicos como medio-ambientales. Hasta el presente ninguna otra industria distinta a la de fabricación de vidrio ha adoptado la tecnología del oxígeno-combustible. En la industria de fabricación de vidrio

esta tecnología se usa no por la eficiencia que resulta, sino por la elevada temperatura de fusión requerida para el proceso de producción del vidrio.

[140] Sin embargo, el uso de sistemas de combustión de oxígeno-combustible en todas las aplicaciones industriales y generadoras de energía puede proporcionar una reducción en el consumo de combustible con una equivalente producción de energía o generación de calor. La reducción del consumo de combustible junto con el uso eficiente del combustible (es decir la combustión eficiente) proporciona emisiones de NOx grandemente reducidas o substancialmente nulas y reducciones significativas en la emisión de otros gases invernadero.

[141] Debido a la variedad de combustibles industriales que pueden ser usados, por ejemplo carbón, gas natural, distintos petróleos (de calefacción y de desecho), madera y otros desechos reciclados, junto con los distintos métodos, actuales y propuestos, para generar oxígeno, las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán el enorme potencial respecto a la aplicabilidad industrial del presente sistema de combustión. La selección del combustible se puede hacer sobre la base de la disponibilidad, de los factores económicos y de las preocupaciones medio-ambientales. De esta forma, no se especifica ningún combustible determinado sino más bien mieles de ellos y de hecho todos los combustibles basados en carbono son compatibles con el presente sistema. Además existen muchas tecnologías aceptables para producir oxígeno de altos niveles de pureza. Entre tales tecnologías están la criogénica, los sistemas de membrana, las unidades de absorción, la hidrólisis, etc. Todos estos usos de combustible y abastecimientos de oxígeno están dentro del alcance de la presente invención. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que los otros gases producidos, por ejemplo hidrógeno y nitrógeno, se pueden almacenar, envasar y vender.

~~57~~

[142] Como se mencionó en detalle arriba, una aplicación para el presente sistema de combustión es el procesamiento y la recuperación de retal de aluminio. Entre las otras aplicaciones que se mencionan más abajo están los quemadores y los incineradores para generación de energía industrial. Estas aplicaciones se centran en la flexibilidad y la aplicabilidad de esta tecnología para amplios usos industriales.

[143] En general el uso de combustión activada por oxígeno y combustible brinda significativas ventajas en muchas áreas en comparación con los actuales o tradicionales sistemas de combustible y aire. En primer lugar está la capacidad de funcionar a niveles estequiométricos precisos sin el impedimento del nitrógeno en el sistema de combustión. Esto permite mayor eficiencia en el uso de combustible y reduce grandemente los niveles de NOx en la aplicación del sistema. Se requiere significativamente menos combustible para lograr los mismos niveles de producción de energía, lo cual a su vez reduce los costos totales de funcionamiento. Al usar menos combustible para obtener la misma producción de energía se logra una reducción natural de las emisiones. El ahorro de combustible y la reducción de las emisiones son tan solo dos de los beneficios proporcionados por el presente sistema.

[144] Los generadores de vapor para la producción de electricidad, por ejemplo mediante calderas de energía industriales, son variados pero sin embargo dependen fundamentalmente de sus sistemas de combustión para producir vapor para hacer rotar un conjunto turbogenerador. Los combustibles usados varían con base en el diseño de los generadores de vapor. No obstante, todas las calderas requieren un agente oxidante. Al emplear el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa oxígeno de alta pureza como el único agente oxidante en toda la caldera o se usa como un complemento al aire que proporciona oxígeno para la combustión.

[145] Los beneficios que son disfrutados por otras aplicaciones industriales son también válidos para la industria generadora de energía. Por ejemplo, el uso de oxígeno dentro de la zona de combustión aumenta la temperatura de llama y al mismo tiempo corta la pérdida de ignición (LOI) proporcionando oxígeno inmediatamente disponible para la combustión. Al aumentar las temperaturas de llama se pueden alcanzar mayores cantidades de generación de vapor con la misma cantidad de consumo de combustible. Dicho a la inversa, con cantidades menores de consumo de combustible se obtiene la misma generación o producción de energía. La temperatura de llama dependerá de la concentración del oxígeno proporcionado para la combustión. Para tal fin, sin complemento o enriquecimiento alguno de oxígeno (es decir aire puro para la combustión) las temperaturas de llama será aproximadamente 1649°C. Haciendo referencia a lo dicho arriba, con oxígeno puro como agente oxidante la temperatura de llama será aproximadamente de 2482°C a aproximadamente 2760°C. Las temperaturas de llama para distintos grados de complementación de oxígeno pueden ser interpoladas (se cree que linealmente) entre estas temperaturas.

[146] El oxígeno también puede usarse juntamente con sistemas de aire sobre-alimentado o con quemadores de poco NOx para reducir el N Ox y otros gases invernadero garantizando al mismo tiempo una llama estable estequiométricamente. Los típicos quemadores de poco NOx aumentan a menudo la pérdida de ignición. Esto exige que los operadores quemen más combustible. Mediante la adición de oxígeno enriquecido al proceso de combustión el combustible se quema completamente de forma estequiométrica sin que haya presente nitrógeno adicional (por entrada adicional de aire) que produzca NOx.

[147] Hay que decir que las calderas serán diseñadas alrededor de sistemas de combustión de oxígeno-combustible para aprovechar totalmente los beneficios de estos sistemas. También hay que decir que las mejoras o modificaciones al equipo

existente también proporcionarán varios de estos beneficios tanto al operador (por ejemplo la instalación) y al medio-ambiente.

[148] Por ejemplo la FIG. 12 ilustra esquemáticamente una caldera u horno 300 activado por carbón. En la pared 304 del horno 300 está formada una caja de viento 302. Un quemador 306, a través del cual se introduce el carbón al horno 300, se extiende a través de la caja de viento 302. El carbón es llevado al horno 300 por un conducto de carbón 308. Se abastece aire primario (indicado como 310) para transportar el carbón (desde un pulverizador no mostrado) a través del conducto 308 y del quemador 306 al horno 300. Se abastece aire terciario (indicado como 312) al conducto de carbón 308 para garantizar que el carbón se transportado al quemador 305.

[149] Se abastece aire secundario (indicado como 314) desde la caja de viento 302 directamente al horno 300 a través de los registros 316 en la pared 304 del horno. El aire secundario 314 es la fuente primaria de aire para el proceso de combustión. En un sistema bien identificado y conocido para controlar el NOx, un sistema de aire sobre-alimentado (indicado como 318) inyecta aire (desde la caja de viento 302) al horno 300 sobre la llama F. El propósito subyacente del aire sobre-alimentado es doble. Primero, proporcionar suficiente oxígeno para garantizar la completa combustión del combustible. Segundo, reducir la temperatura de llama y así reducir la producción de NOx.

[150] También se ha contemplado el uso del presente sistema de combustión en relación con los incineradores de desechos industriales. Los incineradores típicos de desechos operan sobre la base de tiempo resonante, temperatura y exceso de oxígeno. Un sistema de oxígeno-combustible permitirá mayor eficiencia en la operación.

[152] El tiempo resonante depende del tamaño físico de la cámara calentada y de la velocidad y del volumen de los gases que pasan a través de la cámara. A medida que se saca nitrógeno de la cámara, naturalmente el tiempo resonante aumenta porque el volumen de gas usado en el proceso de combustión es menor (en aproximadamente 80 por ciento). Cuando un incinerador está específicamente diseñado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible entonces el incinerador requiere considerablemente menos costos de capital debido al tamaño reducido que se requiere.

[153] Las temperaturas de llama típicas de los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son mucho más altas que las de los sistemas de aire y combustible. Así, la eficiencia de la combustión requiere menor entrada térmica del combustible, lo cual resulta en menores costos operativos. Uno de los beneficios del sistema de combustión de oxígeno-combustible es el control logrado sobre los niveles excesivos de oxígeno. En el caso de los incineradores convencionales se requiere exceso de oxígeno para quemar los carbonos orgánicos volátiles (VOCs) y el carbono no quemado. Este exceso de oxígeno se abastece inyectando aire a la cámara donde el oxígeno (del aire) se usa para completar el quemado de los carbonos orgánicos volátiles y del carbono no quemado. Aunque el aire proporciona el necesario exceso de carbono, él también permite la entrada de nitrógeno a la cámara. El exceso de nitrógeno que se introduce (para proporcionar el exceso de oxígeno) resulta en un aumento en la producción de NOx. Además, el exceso de aire globalmente resulta en la generación de otros gases invernadero y además actúa enfriando la cámara. Este indeseable enfriamiento requiere entonces calor adicional del sistema de combustión para superar este efecto enfriador.

[154] La FIG. 13 ilustra esquemáticamente un horno industrial 400 típico. Se introducen desechos (indicados como 402) en la cámara 404. Un quemador 406 es alimentado con aire (in-

dicado como 408) y combustible (indicado como 410) para producir una llama F para incinerar los desechos 402. Un monitor 412 de monóxido de carbono (CO) se encuentra ubicado arriba de la llama F para determinar el nivel de CO en el gas de escape. Cuando el nivel de CO es demasiado alto entonces se alimenta aire adicional al quemador 406. Opcionalmente se puede alimentar aire a la cámara desde una ubicación 414 separada del quemador 406 para proporcionar el aire adicional.

[155] Este método de operación tiene numerosos inconvenientes. Como se mencionó arriba, los dos factores controladores en la incineración de desechos son tiempo y temperatura. Es decir, temperaturas más altas y mayores tiempos resonantes aumentan la incineración de los desechos. Sin embargo, la adición de aire (para reducir los niveles de CO) aumenta la cantidad de flujo a través de la cámara 404 y reduce así el tiempo resonante. Además, aunque el aumento de flujo de aire reduce las temperaturas de llama (lo cual a su vez reduce la producción de NOx), él también introduce altos niveles de nitrógeno, lo cual tiende a aumentar la producción de NOx y a compensar el efecto de enfriamiento (y de reducción en la producción de NOx). Además, debido al efecto enfriador que tiene el aire, se reduce la eficiencia del proceso de incineración.

[156] El presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, por otra parte, usa oxígeno de alta pureza, lo cual permite quemar el material no quemado sin que haya producción de NOx y de otros gases invernadero y sin que haya efectos enfriadores. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible brinda varias ventajas respecto a los sistemas incineradores convencionales o tradicionales. Como el deber primario de un incinerador es quemar carbonos orgánicos volátiles (VCOs) y otros contaminantes antes de que ellos lleguen a la atmósfera, el presente sistema de combustión reduce el combustible usado y resulta así en una producción reducida

62
457

de NOx y de otros gases invernadero y generalmente también en un volumen reducido de gases de chimenea.

[157] Además, los costos de instalación (por ejemplo el capital) y de funcionamiento de los incineradores que emplean sistemas de combustión de oxígeno-combustible se reducirá grandemente. El costo en capital del incinerador se reducirá porque se espera que sea mucho menor el volumen de gases a través del sistema. Como se dijo arriba, debido a que la producción de gas es mucho menor entonces el tamaño total del incinerador puede ser considerablemente menor que en los sistemas convencionales manteniéndose simultáneamente el mismo tiempo resonante. De este modo, el incinerador puede ser físicamente más pequeño para manejar la misma carga de desechos, y los sistemas de apoyo y el equipo auxiliar requeridos pueden ser igualmente más pequeños.

[158] Además, los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son por lo general considerablemente más eficientes que los sistemas incineradores convencionales y requieren solo una fracción de la cantidad de entrada de energía requerida. El sistema también se presta bastante bien para aplicaciones de incinerador en las que el combustible es carbono no quemado o VOCs. Igualmente, como no hay nitrógeno presente en el conjunto de llama entonces el desarrollo de NOx se mantiene en un mínimo, relegado únicamente al NOx formado por el nitrógeno contenido en el combustible.

[159] Las industrias descritas arriba son solo unos cuantos ejemplos de industrias que se pueden beneficiar del uso del presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán la aplicabilidad de este sistema en las industrias química y petroquímica, en la industria generadora de energía, en las industrias de plásticos, en la industria del transporte, etc.

La Combustión de Oxígeno-Combustible - Beneficios y Ventajas

~~63~~
458

[160] Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán los beneficios y las ventajas del sistema de combustión de oxígeno-combustible. Sin embargo, en un ejemplo de instalación procesadora de retal de aluminio, usando un horno encendido por aire adaptado para gas natural, se encontró que la energía requerida para procesar o fundir una libra de retal de aluminio (determinada por los metros cúbicos de gas natural usados) era $8,42 \times 10^6$ Joules (presentados como $8,42 \times 10^6$ Joules/kg). Es decir que para fundir cada kilogramo de aluminio se necesitaron aproximadamente 0,098 metros cúbicos estándar de gas natural. El requerimiento de $8,42 \times 10^6$ Joules se basa en cada metro cúbico estándar de gas natural que tiene un contenido calorífico de $1,107 \times 10^6$ Joules.

[161] En contraste, usando el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, se encontró que únicamente se necesita $0,029 \text{ m}^3$ estándar de gas natural (ó $2,52 \times 10^6 \text{ J}$) para fundir cada kilogramo de aluminio. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno combustible usó $2,52 \times 10^6 \text{ J} / 8,42 \times 10^6 \text{ J}$ ó 29,9 por ciento del combustible requerido por un horno encendido por aire. Esta es una reducción de 1.0 menos 0,299 o sea aproximadamente 70 por ciento en el consumo de combustible.

[162] Reducciones similares aunque no tan drásticas del consumo de energía se han observado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible que usa petróleo de desecho como combustible. Se encontró que el contenido de calor del combustible de petróleo de desecho necesitado para fundir cada libra de aluminio fue de $2,83 \times 10^6 \text{ J}$. Así, la reducción observada con petróleo de desecho fue $2,83 / 8,42$ o sea 33,6 por ciento, resultando en una reducción de aproximadamente 66 por ciento en el combustible consumido. Como tal, incluso antes de considerar la reducción de los contaminantes producidos, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible mostró reducciones en el consumo de combustible de aproximadamente 70 por ciento y 66 por ciento usando gas natural y petróleo de dese-

64
459

cho respectivamente en comparación con un horno encendido por aire y por gas natural.

[163] La Tabla 1 que aparece abajo ilustra una comparación de los contaminantes producidos usando un sistema de combustión alimentado por aire y gas, un sistema de combustión alimentado por oxígeno y gas, y un sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho. Los contaminantes mostrados son monóxido de carbono (CO), compuestos gaseosos de nitrógeno (NO_x), materia particulada con un tamaño menor de 10 micrones (PM₁₀), materia particulada total (PT), compuestos gaseosos que contienen azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles de carbono (VOC).

[164] Los datos se muestran en dos formas, a saber: toneladas producidas por año (TPY) y libras producidas por millón de BTUs usados (lbs/MMBTU). Los paréntesis que siguen los datos de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO representan las reducciones de contaminante respecto a las del sistema de combustión alimentado por aire y gas.

TABLA 1 - ANALISIS DE GASES DE CHIMENEA PARA SISTEMAS DE COMBUSTION DE AIRE-GAS, OXIGENO-GAS Y OXIGENO-PETROLEO

Contaminante	AIRE-GAS		OXIGENO-GAS		OXIGENO-PETROLEO	
	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU
CO	4,88	2,0E-2	1,51	6,0E-3 (68,9)	1,32	5,0E-3 (73,0)
NO _x	24,38	1,0E-1	0	0 (100,00)	10,04	0,041 (58,8)
PM ₁₀	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,146	6,0E-4 (-410)
PT	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,169	6,9E-4 (-490)
SO _x	0,146	6,0E-4	4,5E-2	1,9E-4 (69)	1,39	5,7E-3 (-848)
VOC	0,582	2,4E-3	4,0E-1	1,6E-3 (31)	3,33	1,4E-2 (-471)

[165] Los valores para PM10, PT, S Ox y VOC para el sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho muestran aumentos (así como reducciones negativas). Esto se debe en parte a que en el ejemplo de sistema de combustión no se usan procesos de tratamiento "pos-combustión". Hay que decir que apropiados procesos "pos-combustión" incluirían filtros de bolsa (para la materia particulada) y lavadores (para los gases que contienen azufre) y resultarían en reducciones de al menos aproximadamente 98,99 a 95 por ciento, respectivamente, en las cantidades de las emisiones. Los valores obtenidos en la TABLA 1 se basaron en la reducción en el consumo de combustible observado y fueron determinado de conformidad con los criterios aceptados de la Agencia de Protección Medio-Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tal como lo establecen las tablas AP42 de la USEPA (disponibles en el sitio web de la USEPA).

[166] Hay que anotar que los valores que aparecen arriba se basan en el control del medio-ambiente dentro del horno en el cual se usa el sistema de combustión de oxígeno-combustible. Es decir, los valores mostrados arriba que indican reducción en los contaminantes para los sistemas de combustión de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO requieren que el horno en el cual están instalados los sistemas de combustión estén diseñados para limitar el ingreso de aire (es decir de nitrógeno en la atmósfera de combustión) a una cantidad insignificante.

[167] Así, como lo apreciarán las personas con experiencia en este campo de la técnica, el uso de oxígeno de alta pureza (o de aire altamente enriquecido con oxígeno) y de cualquier combustible basado en carbono es altamente adaptable a muchos sistemas industriales existentes. Hay que decir que los usos para tal sistema en aplicaciones industriales estándar y convencionales proporcionará un miriada de ventajas y beneficios respecto a los sistemas alimentados y sobre-alimentados por aire que se usan actualmente. Aunque muchas de las actuales

plantas físicas pueden requerir rediseño y modificación para incorporar el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible para mejorar el rendimiento y la producción, se ha contemplado que los beneficios ganados haciendo esos cambios en diseño y estructura, tales como reducción en los costos de operación, por ejemplo menores costos en combustible, menores costos de capital y disminución de las emisiones, serán bastante mayores que los costos para hacer esos cambios.

[168] En la presente revelación ha de sobreentenderse que las palabras "un" o "una" incluyen tanto el singular como también el plural. A la inversa, cualquier referencia a ítems plurales ha de incluir, cuando sea apropiado, el singular.

[169] De lo anterior se observará que se pueden hacer numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse del verdadero espíritu y alcance de los conceptos novedosos de la presente invención. Se ha de sobrentender que las formas específicas de realización ilustradas no tienen propósito limitante y que de ellas no se debe inferir limitación alguna. La revelación tiene el propósito de cubrir mediante las reivindicaciones adjuntas todas las modificaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones.

1 Un incinerador de desechos configurado para evitar substancialmente la introducción de aire para soportar la combustión que comprende:

una zona de combustión;

un quemador;

un abastecimiento de combustible para abastecer combustible;

un abastecimiento de agente oxidante para abastecer oxígeno para soportar la combustión en una pureza predeterminada;

un abastecimiento de desechos para alimentar a una zona de combustión los desechos que se van a incinerar;

medios para alimentar el oxígeno, el combustible y los desechos al incinerador en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro;

medios para limitar un exceso ya sea de oxígeno o de combustible y de desechos a menos del 5 por ciento sobre la proporción estequiométrica; y

medios para controlar la combustión del combustible, de los desechos y del oxígeno para producir una llama para incinerar los desechos, estando la combustión controlada para producir una llama que tenga una temperatura por encima de aproximadamente 2482° C.

2 El incinerador de desechos de acuerdo con la reivindicación 1, el cual incluye otro inyector de oxígeno para inyectar oxígeno a la zona de combustión.

3 El incinerador de desechos de acuerdo con la reivindicación 1, estando el incinerador configurado para evitar substancialmente la introducción de aire.

4 Un método para incinerar desechos que comprende los pasos de:

proporcionar un incinerador de desechos configurado para evitar substancialmente la introducción de aire para soportar la combustión, teniendo el incinerador una zona de combustión, un quemador, un abastecimiento de combustible y un abastecimiento de agente oxidante;

abastecer un combustible al quemador;

abastecer oxígeno de una pureza determinada al quemador para soportar la combustión;

abastecer desechos a la zona de combustión;

alimentar el oxígeno, el combustible y los desechos al incinerador en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro;

limitar un exceso ya sea de oxígeno o de combustible y de desechos a menos del 5 por ciento sobre la proporción estequiométrica; y

controlar la combustión del combustible, de los desechos y del oxígeno para incinerar los desechos de tal forma que el combustible, los desechos y el oxígeno se queman en el quemador para producir una llama para incinerar los desechos, estando la combustión controlada para producir una llama que tenga una temperatura por encima de aproximadamente 2482° C., e incinerar los desechos.

5 El método para incinerar desechos de acuerdo con la reivindicación 4, incluyendo el paso de abastecer al quemador oxígeno que tiene una concentración de al menos aproximadamente 85 por ciento.

6 El método para incinerar desechos de acuerdo con la reivindicación 4, incluyendo el paso de inyectar oxígeno a la zona de combustión aparte del paso de abastecer al quemador de oxígeno de una pureza predeterminada.

7 Un incinerador de desechos configurado para evitar substancialmente la introducción de aire para soportar la combustión que comprende:

una zona de combustión;

un quemador;

un abastecimiento de combustible para abastecer combustible;

un abastecimiento de agente oxidante para abastecer oxígeno para soportar la combustión en una pureza predeterminada;

un abastecimiento de desechos para alimentar a una zona de combustión los desechos que se van a incinerar; medios para alimentar el oxígeno, el combustible y los desechos al

incinerador en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro; medios para limitar un exceso ya sea de oxígeno o de combustible y de desechos a menos del 5 por ciento sobre la proporción estequiométrica; y medios para controlar la combustión del combustible, de los desechos y del oxígeno para producir un tiempo resonante para los desechos en la zona de combustión que sea mayor que el tiempo resonante para la incineración de los desechos en un sistema de combustión aire-combustible.

69
46A

1/5

~~70~~
463

FIG. 1

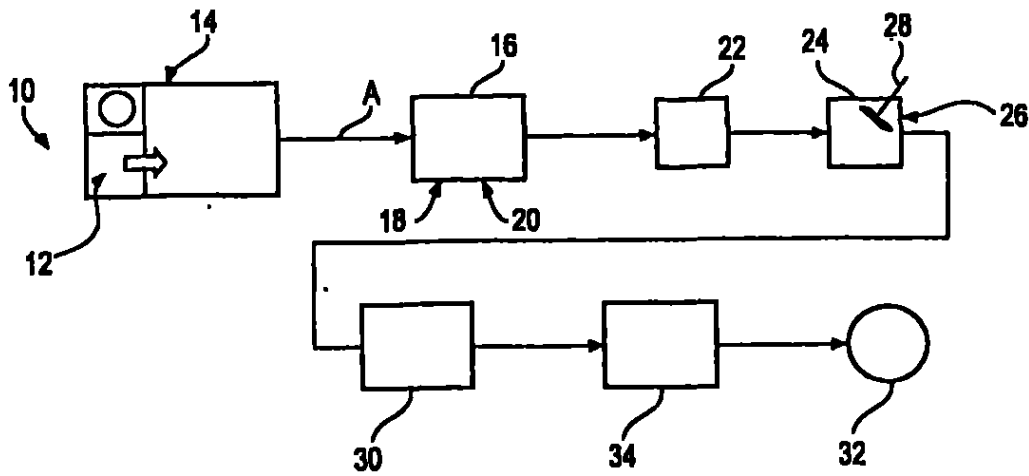


FIG. 2

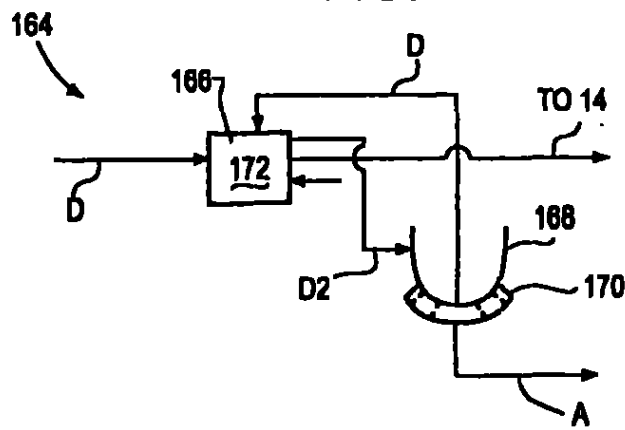
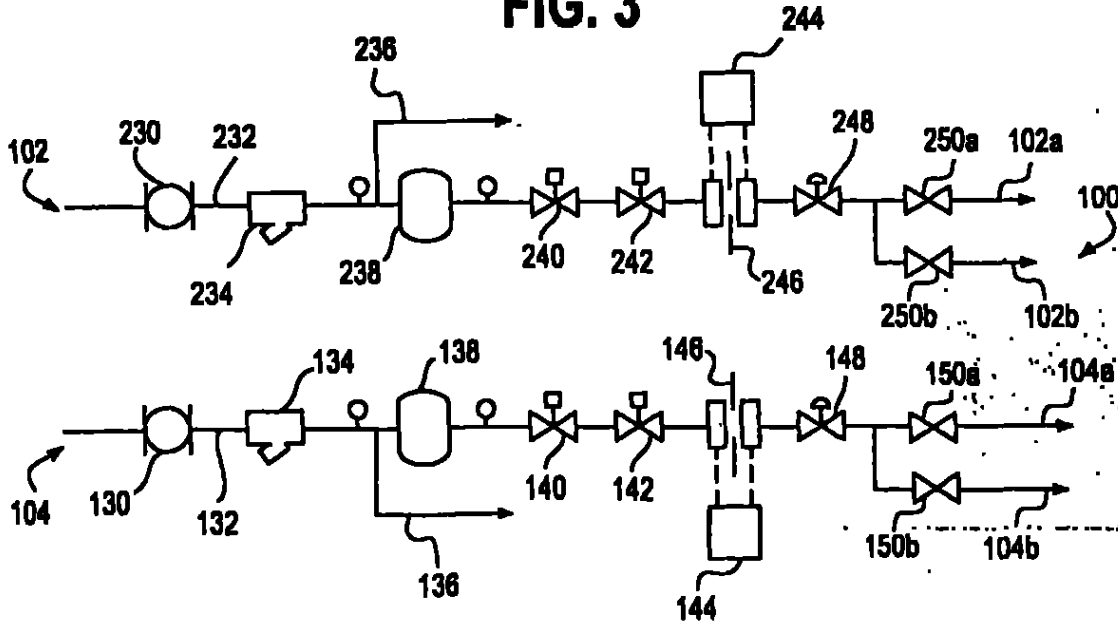


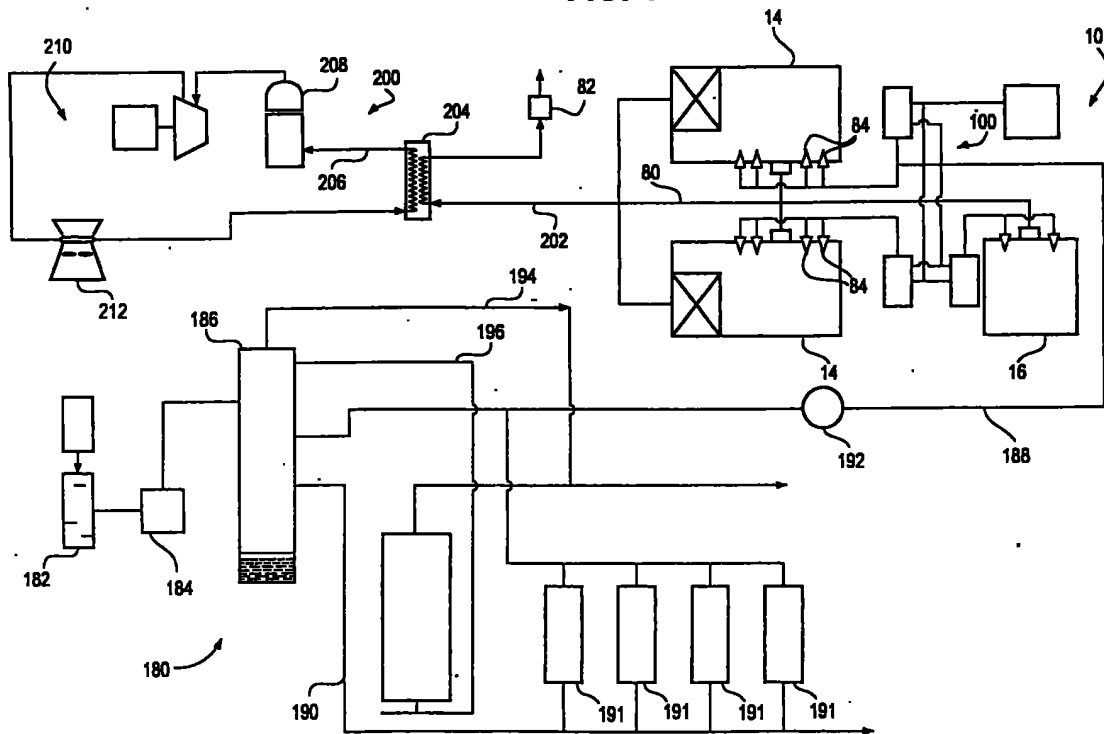
FIG. 3



466

466

FIG. 4



2/5

WO 02/088400

PCT/US02/08701

22
467

3/5

FIG. 5

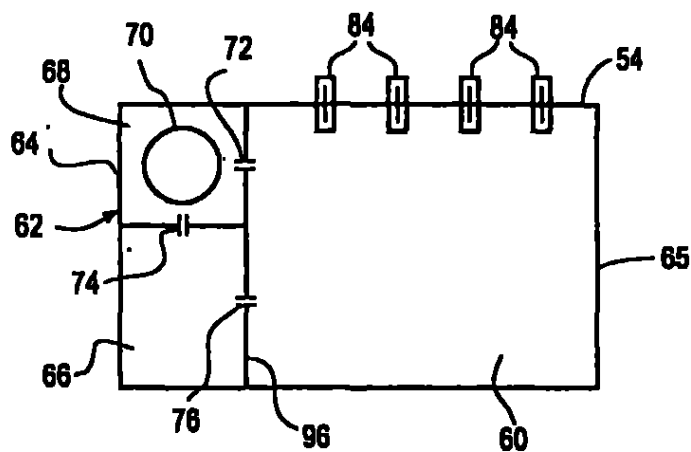


FIG. 6

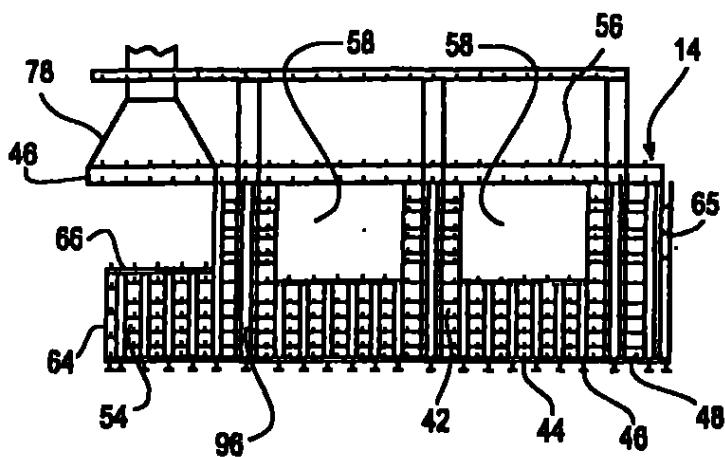


FIG. 7

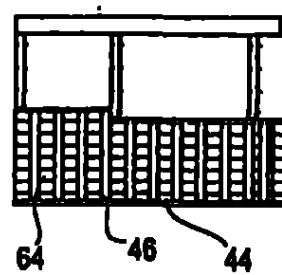


FIG. 8

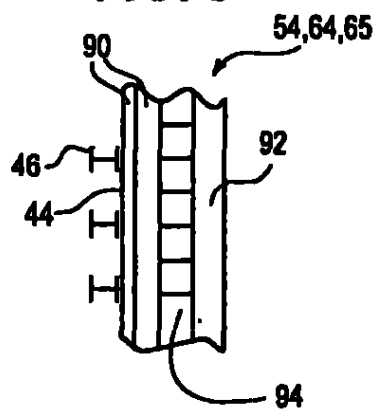
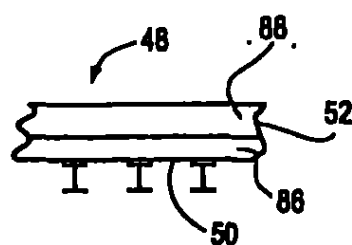


FIG. 9



73
468

FIG. 10

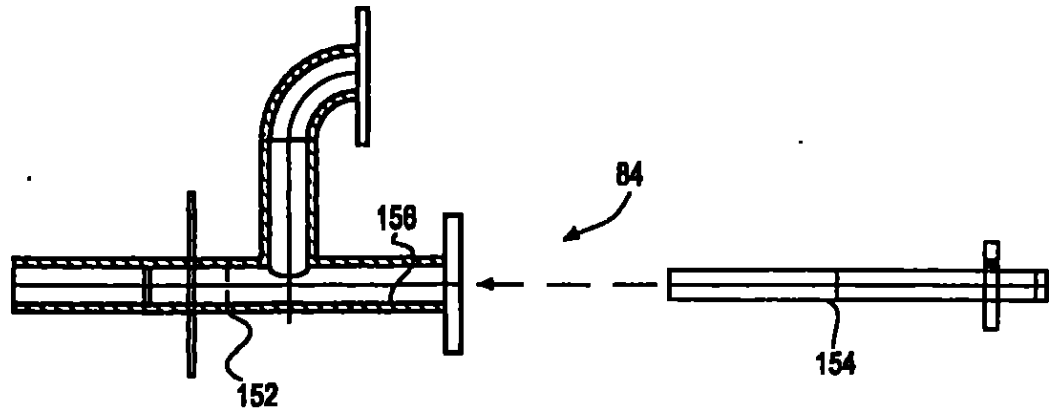
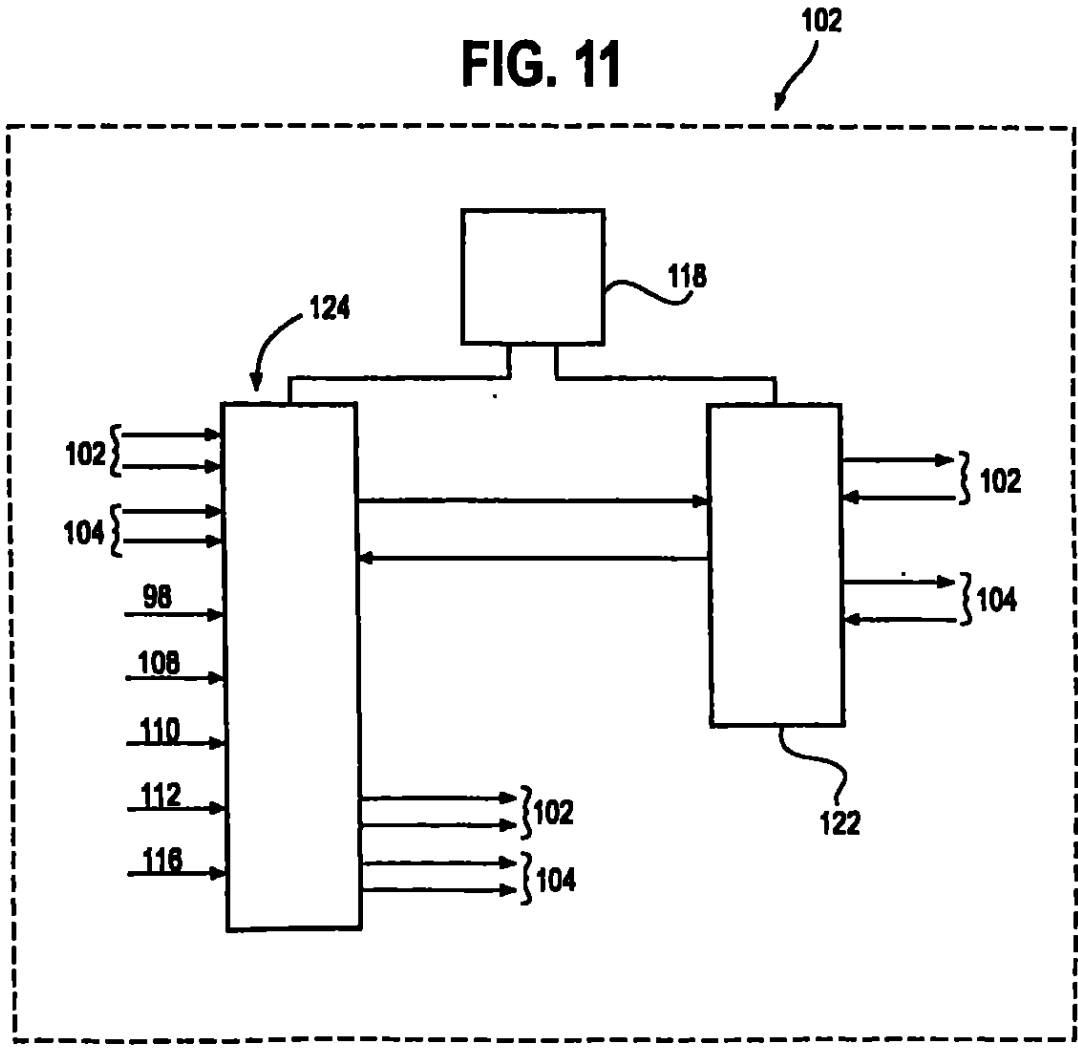


FIG. 11



24
469

FIG. 12

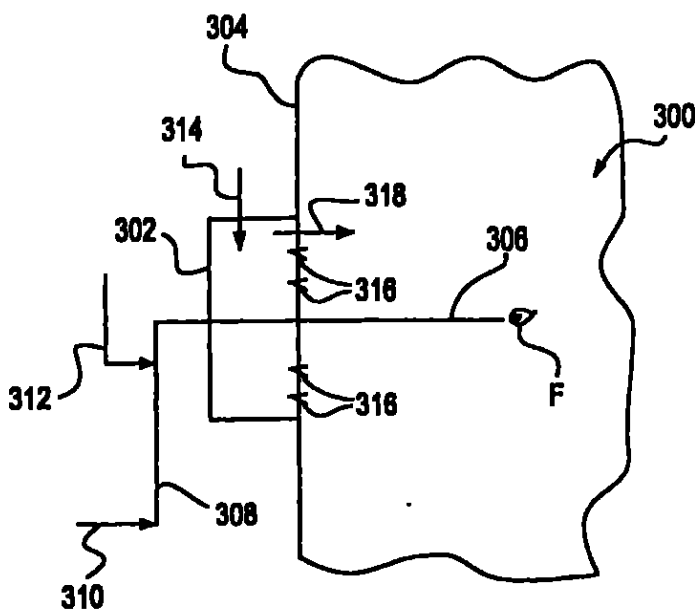
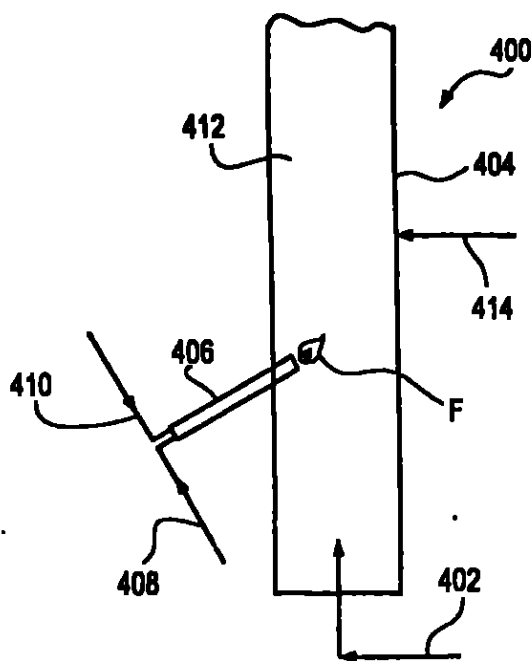


FIG. 13





US006818176B2

78

(12) **United States Patent**
Gross

(10) Patent No.: **US 6,818,176 B2**
(45) Date of Patent: **Nov. 16, 2004**

(54) **OXY-FUELED WASTE INCINERATOR AND METHOD**

(75) Inventor: **Dietrich M. Gross, Wilmette, IL (US)**

(73) Assignee: **Jupiter Oxygen Corp., Schiller Park, IL (US)**

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 134 days.

(21) Appl. No.: **10/161,020**

(22) Filed: **Jan. 3, 2002**

(65) Prior Publication Data

US 2002/0185791 A1 Dec. 12, 2002

Related U.S. Application Data

(62) Division of application No. 09/843,679, filed on Apr. 27, 2001, now Pat. No. 6,436,337.

(51) Int. Cl.⁷ **F23B 5/00**

(52) U.S. Cl. **266/242; 266/200; 588/900**

(58) Field of Search **266/242, 200; 588/900**

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

- 3,547,624 A 12/1970 Gray
- 3,734,719 A 5/1973 Estes
- 3,904,180 A 9/1975 Bass
- 3,955,970 A 5/1976 Clanton
- 4,169,584 A 10/1979 Manglick

- 4,730,336 A 3/1988 Hermcken
- 4,989,841 A 2/1991 Tokumaru
- RE34,298 E * 6/1993 Oikawa et al. 431/5
- 5,871,343 A 2/1999 Bunkai
- 5,883,918 A 3/1999 Gubb
- 5,954,498 A 9/1999 Joshi
- 6,021,723 A * 2/2000 Vallomy 11Q/203
- 6,190,160 B1 2/2001 Hibon
- 6,418,865 B2 7/2002 Marin

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 0 962 540 A1 9/1998

* cited by examiner

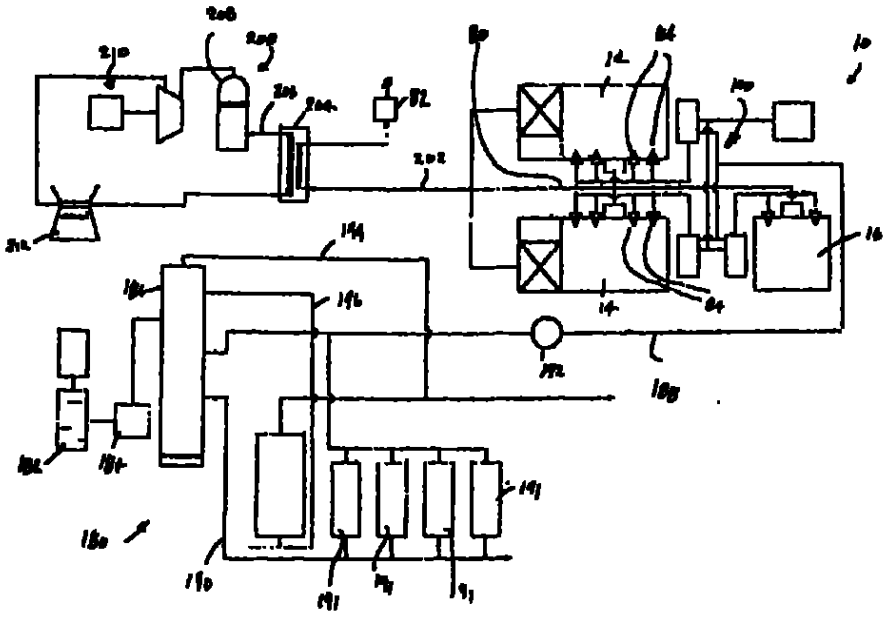
Primary Examiner—**Scott Kastler**

(74) *Attorney, Agent, or Firm*—**Welsh & Katz, Ltd.**

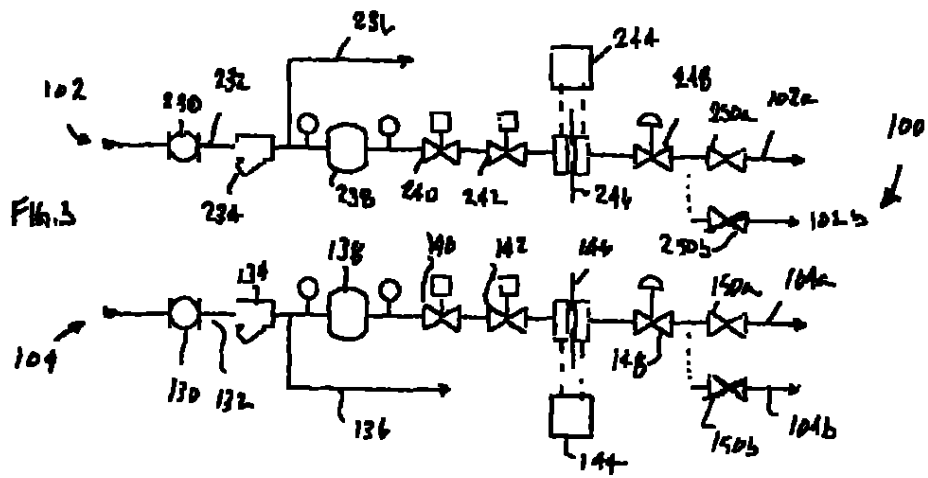
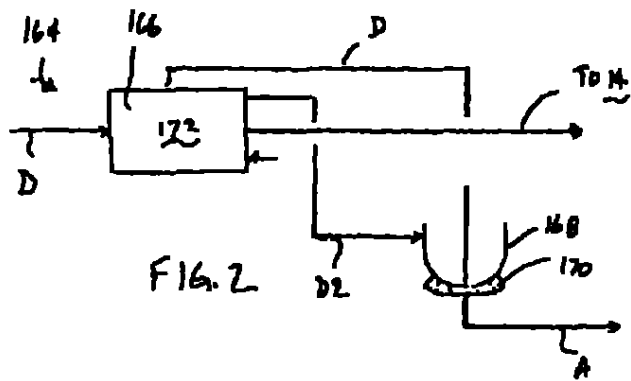
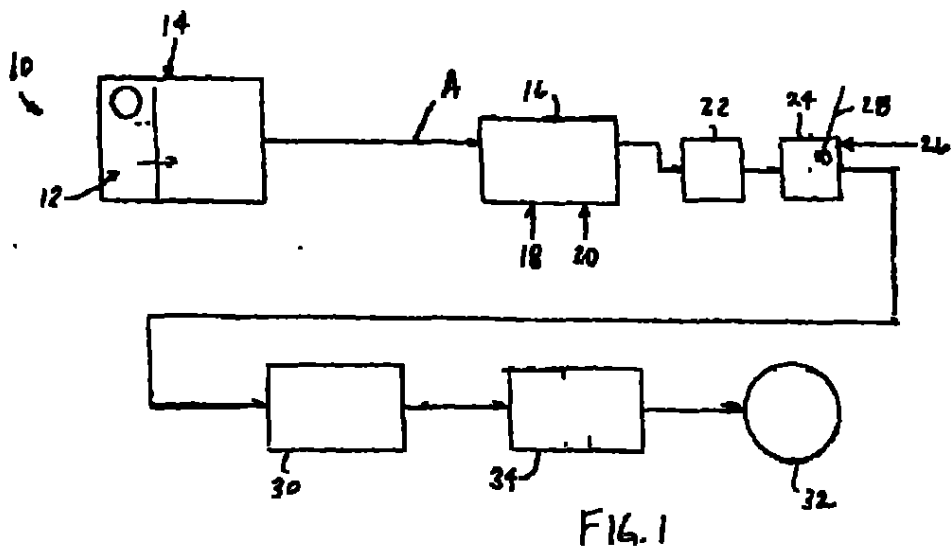
(57) **ABSTRACT**

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having at least one burner, an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity, and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of 4500° R. The exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent and reduced green-house gases. Substantially less carbon based fuel is required than conventional combustion systems without a loss of energy output.

7 Claims, 5 Drawing Sheets



271
76



472

77
472

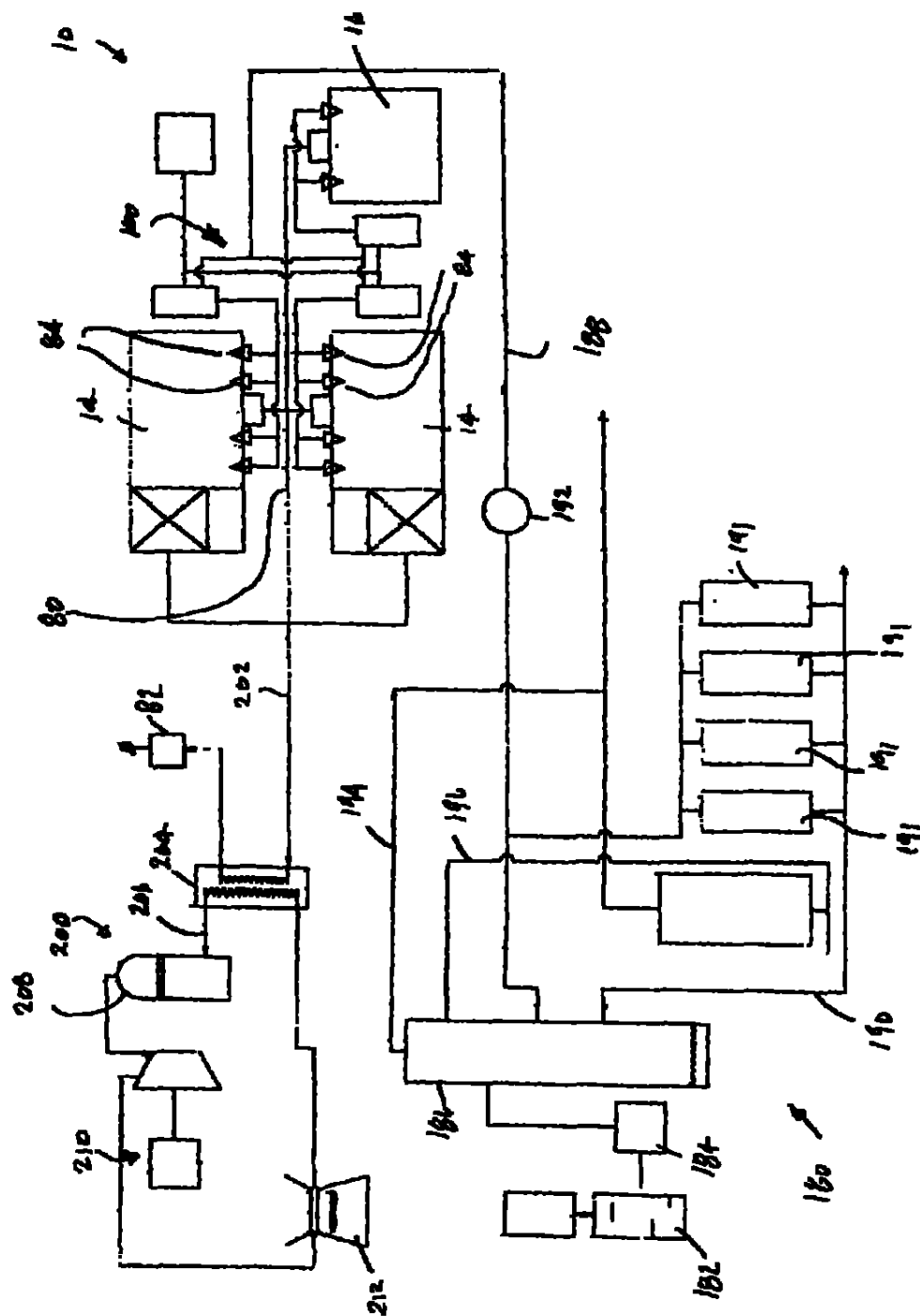
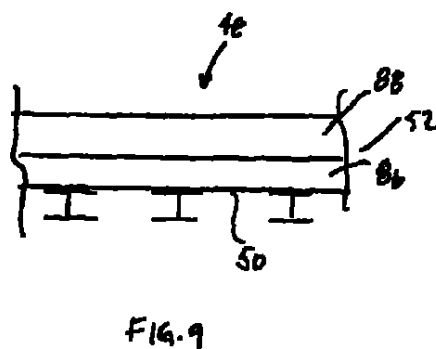
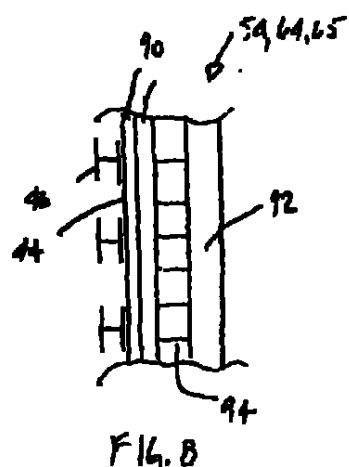
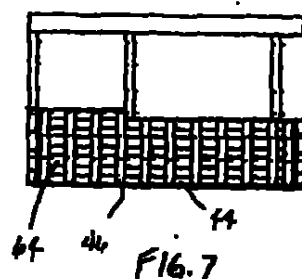
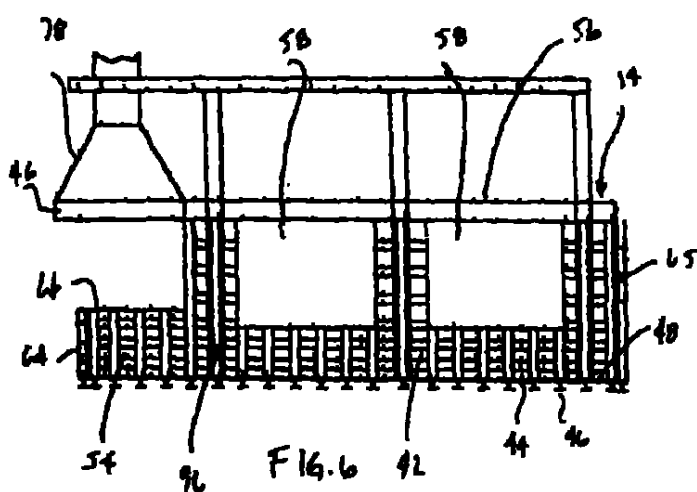
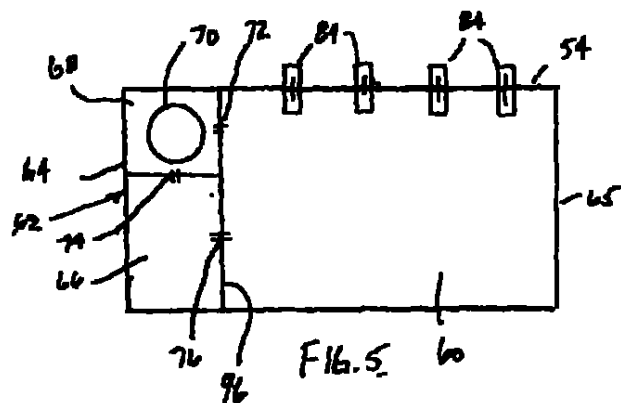


Fig. 4

78
473



~~79~~
Δ74

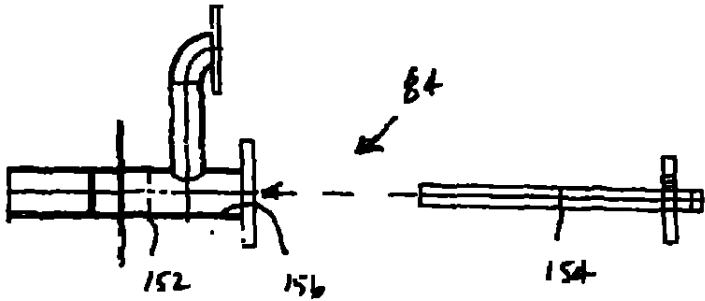


Fig. 1D

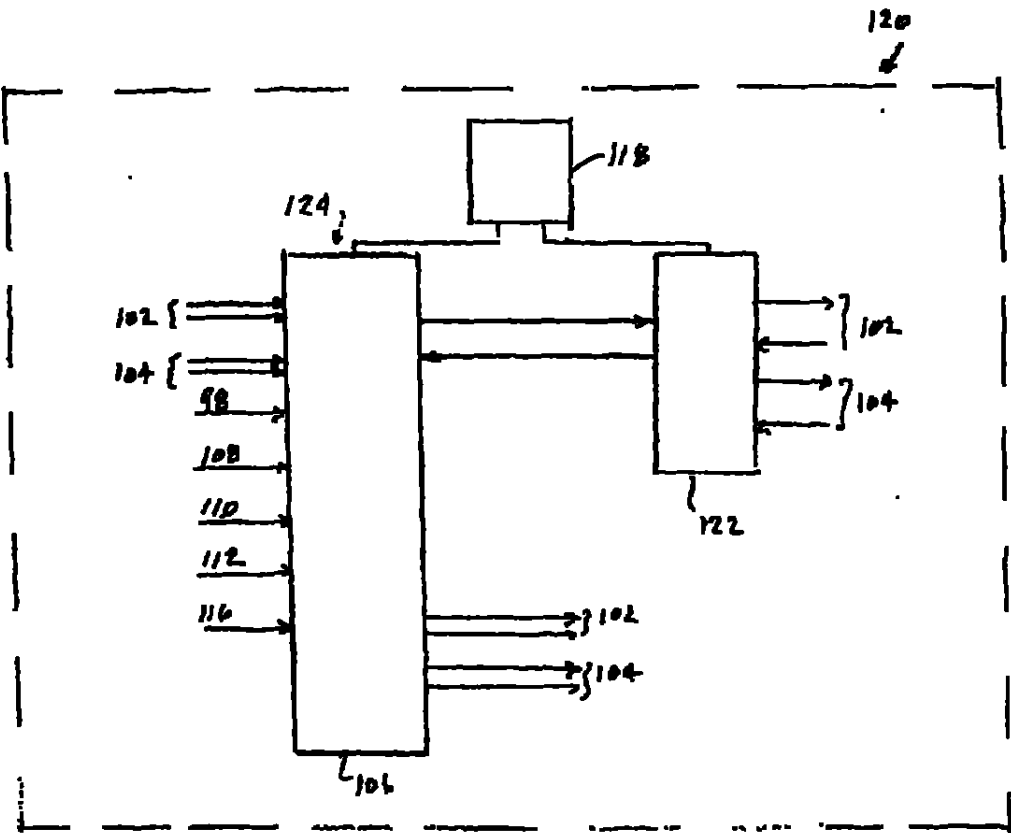


Fig. 1

OXY-FUELED WASTE INCINERATOR AND METHOD

CROSS REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application is a divisional application of U.S. patent application Ser. No. 09/843,679, filed Apr. 27, 2001 now U.S. Pat. No. 6,436,337.

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present invention pertains to an oxygen fueled combustion system. More particularly, the present invention pertains to an oxy-fueled combustion system in which the production of green-house gases is reduced and in which fossil fuel consumption is reduced.

Oxygen fueled burner systems are known, however, their use is quite limited. Oxy-fueled burner systems are generally only used in those applications in which extremely high flame temperatures are required. For example, these systems may be used in the glass making industry in order to achieve the temperatures necessary to melt silica to a fusion temperature. Otherwise, it is commonly accepted that structural and material limitations dictate the upper temperatures to which many industrial systems can be subjected. To this end, air fueled or air fired combustion systems are used in boilers, furnaces and the like throughout most every industrial application including manufacturing, electric power generating and other process applications.

In particular, air fueled combustion systems or electric heating systems are used throughout the steel and aluminum making industries, as well as the power generation industry, and other industries that rely upon carbon based fuels. In air fueled systems, air which is comprised of about 79% nitrogen and 21% oxygen, is fed, along with fuel into a furnace. The air fuel mixture is ignited creating a continuous flame. The flame transfers energy in the form of heat from the fuel air mixture into the furnace.

In the steel and aluminum industries, air fueled furnaces and electric furnaces have been used as the primary heat source for creating molten metals. With respect to air fueled furnaces, it is conventionally accepted that the energy requirements, balanced against the thermal limitations of the process equipment, mandate or strongly support the use of these types of combustion systems. As to the use of electric furnaces in the aluminum industry, again, conventional wisdom supports this type of energy source to achieve the temperatures necessary for aluminum processing.

One drawback to the use of air fueled combustion systems, is that these systems produce NOx and other green-house gases such as carbon dioxide, sulfur dioxide and the like, as an inherent result of the combustion process. NOx and other green-house gases are a large contributor to environmental pollution, including, but not limited to acid rain. As such, the reduction in emission of NOx and other green-house gases is desirable, and as a result of regulatory restrictions, emission is greatly limited. To this end, various devices must be installed on these combustion systems in order to limit and/or reduce the levels of NOx and other green-house gases produced.

Another drawback with respect to air fueled furnaces is that much of the energy released from the combustion process is absorbed or used to heat the gaseous nitrogen present in the air that is fed to the furnace. This energy is essentially wasted in that the heated nitrogen gas is typically, merely exhausted from the heat source, e.g., furnace. To this

and, much of the energy costs are directed into the environment, through an off-gas stack or the like. Other drawbacks of the air fed combustion systems known will be recognized by skilled artisans.

Electric furnaces likewise have their drawbacks. For example, inherent in these systems as well is the need for a source of electricity that is available on a continuous basis, essentially without interruption. In that large amounts of electric power are required to operate electric furnaces, it is typically necessary to have these electric furnaces located in proximity to electric generating plants and/or large electrical transmission services. In addition, electric furnaces require a considerable amount of maintenance to assure that the furnaces are operated at or near optimum efficiency. Moreover, inherent in the use of electric furnaces is the inefficiency of converting a fuel into electrical power (most large fossil fueled power stations that use steam turbines operate at efficiencies of less than about 40 percent, and generally less than about 30 percent). In addition, these large fossil fueled stations produce extremely large quantities of NOx and other green-house gases.

For example, in the aluminum processing industry, and more specifically in the aluminum scrap recovery industry, conventional wisdom is that flame temperatures in furnaces should be maintained between about 2500° F. and 3000° F. This range is thought to achieve a balance between the energy necessary for providing sufficient heat for melting the scrap aluminum, and maintaining adequate metal temperatures in the molten bath at about 1450° F. Known furnaces utilize a design in which flame temperatures typically do not exceed 3000° F. to assure maintaining the structural integrity of these furnaces. That is, it is thought that exceeding these temperature limits can weaken the support structure of the furnace thus, possibly resulting in catastrophic accidents. In addition, stack temperatures for conventional furnaces are generally about 1600° F. Thus, the temperature differential between the flame and the exhaust is only about 1400° F. This results in inefficient energy usage for the combustion process.

It is also believed that heat losses and potential damage to equipment from furnaces in which flame temperatures exceed about 3000° F. far outweigh any operating efficiency that may be achieved by higher flame temperatures. Thus, again conventional wisdom fully supports the use of air fueled furnaces in which flame temperatures are at an upper limit of about 3000° F. (by flame stoichiometry) which assures furnace integrity and reduces energy losses.

Accordingly, there exists a need for a combustion system that provides the advantages of reducing environmental pollution (attributable to NOx and other green-house gases) while at the same time providing efficient energy use. Desirably, such a combustion system can be used in a wide variety of industrial applications, ranging from the power generating/utility industry to chemical processing industries, metal production and processing and the like. Such a combustion system can be used in metal, e.g., aluminum, processing applications in which the combustion system provides increased energy efficiency and pollution reduction. There also exists a need, specifically in the scrap aluminum processing industry for process equipment (specifically furnaces) that are designed and configured to withstand elevated flame temperatures associated with such an efficient combustion system and to increase energy efficiency and reduce pollution production.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having a controlled environment, and includes at least one

burner. The combustion system includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The present oxy fuel combustion system increases the efficiency of fuel consumed (i.e., requires less fuel), produces zero NOx (other than from fuel-borne sources) and significantly less other green-house gases.

The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The combustion system preferably includes a control system for controlling the supply of carbon based fuel and for controlling the supply of oxygen to the furnace. In the control system, the supply of fuel follows the supply of oxygen to the furnace. The supply of oxygen and fuel is controlled by the predetermined molten aluminum temperature. In this arrangement, a sensor senses the temperature of the molten aluminum.

The carbon based fuel can be any type of fuel. In one embodiment, the fuel is a gas, such as natural gas, methane and the like. Alternately, the fuel is a solid fuel, such as coal or coal dust. Alternately still, the fuel is a liquid fuel, such as a fuel oil, including waste oils.

In one exemplary use, the combustion system is used in a scrap aluminum recovery system for recovering aluminum from scrap. Such a system includes a furnace for containing molten aluminum at a predetermined temperature, that has at least one burner. The recovery system includes an oxygen supply for supplying oxygen to the furnace through the combustion system. To achieve maximum efficiency, the oxygen supply has an oxygen purity of at least about 85 percent.

A carbon based fuel supply supplies a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

In such a recovery system, the combustion of oxygen and fuel creates energy that is used for recovering aluminum from the scrap at a rate of about 1083 BTU per pound of aluminum recovered. The fuel can be a gas, such as natural gas, or it can be a solid fuel or a liquid fuel.

In the recovery system, heat from the furnace can be recovered in a waste heat recovery system. The recovered heat can be converted to electrical energy.

In a most preferred system, the combustion system includes a system for providing oxygen. One such system separates air into oxygen and nitrogen, such as a cryogenic separation system. Other systems include membrane separation and the like. Oxygen can also be provided by the separation of water into oxygen and hydrogen. In such systems, the oxygen can be stored for use as needed. Other systems are known for oxygen generation/separation.

The oxygen fueled combustion system, generally, can be used with any furnace that has a controlled environment. That is, with any furnace that has substantially no in-leakage from an external environment. Such a combustion system

includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel.

The oxygen in the oxygen supply and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. In such a furnace, an exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds. That is, because there is no nitrogen fed in with the fuel, unless there is fuel-borne nitrogen, the exhaust gas contains substantially no nitrogen containing combustion products (i.e., NOx), and significantly lowered levels of other green-house gases.

This combustion system can use any carbon based fuel including gas, such as natural gas or methane, any solid fuel such as coal or coal dust or any liquid fuel, such as oil, including waste and refined oils. In such a combustion system, any nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds are formed from the fuel-borne nitrogen.

A method for recovering aluminum from scrap includes feeding aluminum scrap into a melting furnace and combusting oxygen and a carbon based fuel in the furnace. In the combustion of the oxygen and fuel, the oxygen and fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The aluminum is melted in the furnace, contaminant laden aluminum is removed from the furnace and substantially pure molten aluminum is discharged from the furnace. The method can include the step of recovering aluminum from the contaminant laden aluminum, i.e., dross, and charging the recovered aluminum into the furnace.

The method can include recovering waste heat from the furnace. The waste heat recovered can be converted to electricity.

A furnace for recovering aluminum from scrap aluminum includes a bath region for containing molten aluminum at a predetermined temperature, and at least one burner. An oxygen supply supplies oxygen having a purity of at least about 85 percent and a carbon based fuel supply supplies fuel, such as natural gas, coal, oil and the like.

The oxygen in the oxygen supply and the fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace has a temperature of not more than about 1100° F.

In one embodiment, the furnace is formed from steel plate, steel beams and refractory materials. The furnace walls are configured having a steel beam and plate shell, at least one layer of a crushable insulating material, at least one layer of a refractory brick, and at least one layer of a castable refractory material. The furnace floor is configured having a steel beam and plate shell and at least two layers of refractory material, at least one of the layers being a castable refractory material.

A salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum is also disclosed that includes the steps of introducing the dross-laden aluminum into a furnace. The furnace has an oxygen fuel combustion system producing a

82
477

83
278

flame temperature of about 5000° F., and having substantially no excess oxygen. The dross-laden aluminum melts within the furnace.

An upper portion of the melted dross-laden aluminum is skimmed to produce a heavily dross-laden product. The heavily dross-laden product is pressed in a mechanical press to separate the aluminum from the heavily dross-laden product to produce a concentrated heavily dross-laden product. The method can include the step of returning the concentrated heavily dross-laden product to the furnace. Introduction of the dross-laden aluminum into the furnace is carried out in near direct flame impingement to release the oxides from the dross.

These and other features and advantages of the present invention will be apparent from the following detailed description, in conjunction with the appended claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE SEVERAL VIEWS OF THE DRAWINGS

The benefits and advantages of the present invention will become more readily apparent to those of ordinary skill in the relevant art after reviewing the following detailed description and accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is an overall flow scheme of an exemplary aluminum scrap recovery process having a melting furnace with an oxygen fueled combustion system, in which green-house gas production and fuel consumption are reduced, embodying the principles of the present invention;

FIG. 2 is an overall flow scheme of a dross processing operation continued from FIG. 1 having a recovery furnace having an oxygen fueled combustion system embodying the principles of the present invention;

FIG. 3 is an exemplary natural gas supply train and oxygen supply train for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 4 is an overall plant scheme showing the oxygen supply, from a cryogenic plant, and flow to the furnaces, and further illustrating an exemplary waste heat recovery plant;

FIG. 5 is a schematic illustration of an aluminum melting furnace for use with an oxygen fueled combustion system in accordance with the principles of the present invention;

FIG. 6 is a side view of the furnace of FIG. 5;

FIG. 7 is a front view of the melting furnace of FIG. 6;

FIGS. 8 and 9 are partial cross-sectional illustrations of a side wall and the floor of the furnace, respectively;

FIG. 10 illustrates a burner assembly for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 11 is a schematic illustration of an exemplary control system for use with an oxygen fueled combustion system of the present invention

FIG. 12 is a schematic view of an exemplary power boiler or furnace front wall illustrating a burner and an air feed arrangement, and showing the incorporation of an oxy fuel combustion system therein embodying the principles of the present invention; and

FIG. 13 is a schematic illustration of a waste incinerator showing the incorporation therein of an oxy fuel combustion system embodying the principles of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

While the present invention is susceptible of embodiment in various forms, there is shown in the drawings and will hereinafter be described a presently preferred embodiment

with the understanding that the present disclosure is to be considered an exemplification of the invention and is not intended to limit the invention to the specific embodiment illustrated. It should be further understood that the title of this section of this specification, namely, "Detailed Description Of The Invention", relates to a requirement of the United States Patent Office, and does not imply, nor should be inferred to limit the subject matter disclosed herein.

An oxy-fuel combustion system uses essentially pure oxygen, in combination with a fuel source to produce heat, by flame production (i.e., combustion), in an efficient, environmentally non-adverse manner. Oxygen, which is supplied by an oxidizing agent, in concentrations of about 85 percent to about 99+ percent can be used, however, it is preferable to have oxygen concentration (i.e., oxygen supply purity) as high as possible. In such a system, high-purity oxygen is fed, along with the fuel source in stoichiometric proportions, into a burner in a furnace. The oxygen and fuel is ignited to release the energy stored in the fuel. For purposes of the present disclosure, reference to furnace is to be broadly interpreted to include any industrial or commercial heat generator that combusts fossil (carbon-based) fuels. In a preferred system, oxygen concentration or purity is as high as practicable to reduce green-house gas production.

It is contemplated that essentially any fuel source can be used. For example, in a present application, as will be described in more detail below, oxygen is fed along with natural gas, for combustion in a furnace. Other fuel sources contemplated include oils including refined as well as waste oils, wood, coal, coal dust, refuse (garbage waste) and the like. Those skilled in the art will recognize the myriad fuel sources that can be used with the present oxy-fuel system.

The present system departs from conventional processes in two principal areas. First, conventional combustion processes use air (as an oxidizing agent to supply oxygen), rather than essentially pure oxygen, for combustion. The oxygen component of air (about 21 percent) is used in combustion, while the remaining components (essentially nitrogen) are heated in and exhausted from the furnace. Second, the present process uses oxygen in a stoichiometric proportion to the fuel. That is, only enough oxygen is fed in proportion to the fuel to assure complete combustion of the fuel. Thus, no "excess" oxygen is fed into the combustion system.

Many advantages and benefits are achieved using the present combustion system. It has been observed, as will be described below, that fuel consumption, to produce an equivalent amount of power or heat is reduced, in certain applications, by as much as 70 percent. Significantly, this can provide for a tremendous reduction in the amount of pollution that results. Again, in certain applications, the emission of NOx can be reduced to essentially zero, and the emission of other green-house gases reduced by as much as about 70 percent over conventional air-fueled combustion systems.

An Exemplary Scrap Aluminum Recovery Process

In one specific use, the oxygen fueled combustion system (also referred to as oxy-fuel or oxy-fueled) is used in a scrap aluminum recovery plant 10. A flow process for an exemplary plant is illustrated in FIGS. 1-2. Scrap aluminum, generally indicated at 12 is fed into a melting furnace 14, and is liquefied. The plant 10 can include multiple furnaces operated in parallel 14, one of which is illustrated. The liquefied or molten aluminum is drawn from the melting furnace 14 and is fed into a smaller holding furnace or holder 16. The holding furnace 16 is also an oxy-fueled furnace. The molten aluminum is drawn from the melting furnace 14

as necessary, to maintain a certain, predetermined level in the holding furnace 16. This can result in continuously drawing down from the melting furnace 14 or drawing down in "batches" as required.

In the holding furnace 16, chlorine and nitrogen (as gas), as indicated at 18 and 20, respectively, are fed into the holding furnace 16 to facilitate drawing the impurities from the molten aluminum. The chlorine and nitrogen function as a gaseous fluxing agent to draw the impurities from the aluminum. This can also be carried out in the melting furnaces 14 to increase cleaning of oily and dirty scrap. Other contemplated fluxing agents include gaseous argon hexafluoride. The holder 16 is actively heated and operates at a molten metal temperature of about 1300° F. The air temperature in the holder 16 is slightly higher.

The molten aluminum is then filtered. Presently, a bag-type particulate filter 22 is used. However, other types of filters are known and can be used. The filtered, molten aluminum is then fed through a degasser 24.

In the degasser 24, a fluxing agent, such as an inert gas (again, nitrogen is used, as indicated at 26) is fed into the molten aluminum. The molten aluminum is agitated, such as by a mechanical stirrer 28 and the fluxing agent 26 bubbles up through the molten aluminum to draw impurities (e.g., oxides) from the aluminum.

The molten aluminum is then fed into an in-line caster 30. In the caster 30, the aluminum is cast into continuous plate. The cast thickness can be any where from 0.010 inches up to 0.750 inches or more. The aluminum can then be rolled into a coil, as indicated at 32, for use or further processing. In a present method, the aluminum proceeds from the caster 30 through a pair of hot milling machines 34 where the plate is milled to a final thickness or gauge, presently about 0.062 inches (82 mils) and is then rolled to form the coil 32. Those skilled in the art will understand and appreciate the various end forming and finishing processes that can be carried out on the metal. All such forming and finishing processes are within the scope and spirit of the present invention.

Returning to the melting furnace 14, as stated above, it is an oxy-fuel furnace. It is fed with a carbon based fuel, such as natural gas, in stoichiometric proportion with oxygen. This is unlike known furnaces which use fuel and air mixtures. The fuel/air mixtures feed nitrogen as well as oxygen into the furnace to support the combustion process. This results in the production of undesirable NOx off-gases. In addition, the nitrogen also absorbs energy from the molten aluminum, thus reducing the overall efficiency of the process. That is, because the percentage of nitrogen in air is so great, a large amount of energy goes into heating the nitrogen rather than the aluminum.

The oxygen/natural gas proportions in the present melting and holding furnaces 14, 16 are about 2.36:1. This ratio will vary depending upon the purity of the oxygen supply and the nature of the fuel. For example, under perfect conditions of 100 percent pure oxygen, the ratio is theoretically calculated to be 2.056:1. However, the oxygen supply can have up to about 15 percent non-oxygen constituents and natural gas is not always 100 percent pure. As such, those skilled in the art will appreciate and understand that the ratios may vary slightly, but the basis for calculating the ratios, that is stoichiometric proportions of fuel and oxygen, remains true.

This proportion of oxygen to fuel provides a number of advantages. First, this stoichiometry provides complete combustion of the fuel, thus resulting in less carbon monoxide, NOx and other noxious off-gas emissions (other green-house gases generally). In addition, the controlled oxygen proportions also reduce the amount of oxides present

in the molten aluminum. This, in turn, provides a higher quality final aluminum product, and less processing to remove these undesirable oxide contaminants.

It is important to note that accurately controlling the ratio of oxygen to fuel assures complete burn of the fuel. This is in stark contrast to, for example, fossil fueled power plants (e.g., utility power plants), that struggle with LOI (loss on ignition). Essentially, LOI equates to an incomplete burn of the fuel. In the present method, on the other hand, substantially pure oxygen, in tightly controlled stoichiometric proportion to the fuel, minimizes and possibly eliminates these losses. In addition, in the present method, the only theoretical NOx available is from fuel-borne NOx, rather than that which could otherwise result from combustion using air. Thus, NOx, if not completely eliminated is reduced to an insignificant amount compared to conventional combustion systems.

Oxides in aluminum come from two major sources. First, from the combustion process; second, from oxides that reside in the aluminum. This is particularly so with poor grade scrap or primary metal. The present process takes into consideration both of these sources of oxides and reduces or eliminates their impact on the final aluminum product. First, the present process reduces oxides that could form as a result of the oxygen fed for the combustion of the fuel. This is achieved by tightly controlling oxygen feed to only that necessary by stoichiometric proportion for complete combustion of the fuel.

The present process takes into consideration the second sources of oxides (that residing in the aluminum), and removes these oxides by virtue of the degassing and filtering processes. The benefits are two fold. The first is that less byproduct in the form of dross D is formed; second, the quality of the finished product is greatly enhanced.

It has also been found that using a fuel/oxygen mixture (again, rather than a fuel/air mixture) results in higher flame temperatures in the melting furnace. Using oxy-fuel, flame temperatures in the furnace of about 5000° F. are achieved. This is higher, by about 1500° F. to 2000° F., than other, known furnaces. It has also been observed that using oxy-fuel, in conjunction with these higher flame temperatures, results in an extremely highly efficient process. In one measure of efficiency, the energy required (in BTU) per pound of processed aluminum is measured. In a known process, the energy required is about 3620 BTU/lb of processed product. In the present process and apparatus, the energy requirements are considerably less, about 1083 BTU/lb of metal processed. It should also be noted that although the "fuel" discussed above in reference to the present method is natural gas, any organic based fuel, such as oil (including waste oil), coal, coal dust and the like can be used.

For purposes of understanding the thermodynamics of the process, the theoretical energy required to melt a pound of aluminum is 504 BTUs. However, because specific process inefficiencies are inherent, the actual energy required was found to be about 3620 BTU/lb when using an air fired combustion system. These inefficiencies include, for example, actual processing periods being less than the actual time that the furnace is "fired", and other downstream process changes, such as caster width increases or decreases. In addition, other "losses" such as stack (heat) losses, and heat losses through the furnace walls, add to this energy difference.

Moreover, the value of 1083 BTU/lb is an average energy requirement, even taking into account these "losses". It has been found that when the process is running at a high

83
479

efficiency rate, that is when aluminum is processed almost continuously, rather than keeping the furnace "fired" without processing, the "average" energy requirement can be reduced to about 750 BTU/lb to 900 BTU/lb.

The Melting Furnace

A present melting furnace 14 is constructed primarily of steel and refractory materials. Referring to FIGS. 3-9, the furnace shell 42 has outside dimensions of about 20 feet in width by 40 feet in length by 12 feet in height. The steel shell structure 42 is formed from plates and beams. Plates and beams will be identified through as 44 and 46, respectively, for the furnace shell 42 structure, except as indicated. The floor 48 is fabricated from one-inch thick plate 44 steel that is welded together. Each weld is above a beam 46 to assure the integrity of the furnace shell 42.

Additional beams 46 are provided for furnace floor 48 support. Each beam 46 provides an 8 inch wide flange about every 18 inches on center. All of the beams 46 (exclusive of the joining beams which are completely seam welded) are stitched to the bottom plate 50. This permits "growth" in the steel due to thermal expansion during heating.

The beams 46 provide support and rigidity to the furnace bottom 52. The beams 46 maintain the furnace 14 rigid to reduce flexing during installation of the refractory and long-term use. The beams 46 also provide support so that during operation of the furnace 14 the mechanical loading on the refractory materials is minimized. The beams 46 also elevate the furnace bottom 52 from the floor on which the furnace 14 is mounted. This allows heat, which builds up under the furnace 14, to escape.

The furnace side walls 54 are likewise made of a steel plate and beam construction. Two wall regions are recognized, above metal line and below metal line. This distinction is made for both strength and thermal value considerations.

Below metal line, the plate is $\frac{1}{4}$ inch thick. Above metal line, the plate is $\frac{1}{2}$ inch thick. In the present furnace, the first eight feet are considered (for design purposes) below metal line and the upper four feet are considered (for design purposes) above metal line.

Beams 46 are used to support the side walls 54 of the furnace 14. The beams 46 are set on 18 inch centerlines running vertically along the furnace 14. Horizontal beams 46 are placed at 18 inch centers below metal line and 24 inch centers above metal line. Although the metal line in the furnace 14 varies, it is, for design considerations, the highest level of metal that will be in the furnace 14 during normal operation. Additional factors may be considered, in which, for example, the metal line can be assumed to be nine inches above the maximum fill line of the furnace 14.

The roof 56 of the furnace 14 is a hanging refractory design. Beams 46 are on 18 inch centers along the width of the furnace 14. Additional beams 46 are welded to beams extending across the width, which additional beams are oriented along the length of the furnace 14. Clips are mounted to the beams, to which precast refractory blocks are mounted.

The furnace 14 has two main doors 58 on the furnace side 54. The doors 58 are used during operation for skimming or cleaning the main furnace heat chamber or bath area 60 and for main furnace chamber 60 charging. Dross D (the contaminant slag that forms on the surface of molten aluminum) builds up inside the furnace 14 and must be cleaned out at least once a day to maintain heat transfer rates. The dross D is removed by opening the doors 58 and skimming the surface of the molten metal pool.

Although during typical operation, metal or scrap is placed in the charge well 62, and is subsequently melted and

transferred to the furnace heat chamber 60, some types of scrap, such as sows or ingot, are better placed directly in the main heat chamber 60. The doors 58 can be opened to transfer these types of loads to the heat chamber 60.

The doors 60 are of steel and refractory construction. The doors 60 are hung on a mechanical pulley system (not shown) and are protected by safety chains to prevent them from falling to the ground in the event that the pulley system fails. Powered winches are used to operate the doors. The doors 60 are hung from a common cross member, which is supported from the side 54 of the furnace 14.

The main charge well 62 is located on the front 64 of the furnace 14. The well 62 is partitioned from the furnace heat chamber 60 and is partitioned into two areas: a charging area 66; and a circulation pump area 68. A circulation pump 70 circulates metal from the hot pool of molten aluminum in the main chamber 60 to the scrap charging area 62.

There are three openings, indicated at 72, 74 and 76, between the chambers 60, 66 and 68. The first opening 72 is in the partition between the main chamber 60 and the pump well 68. The second opening 74 is in the partition between the pump well 68 and the scrap charging area 66. The third opening 76 is in the partition between the charge well 66 and the main heat chamber 60.

All of the openings 72, 74 and 76 are about one foot below the physical or actual metal line of the furnace 14. The openings 72, 74 and 76 are below metal line to maintain the heat inside the main chamber 60, and to prevent the flow of oxides between the partitioned areas of the furnace 14 and to maintain the furnace air-tight (i.e., maintain a controlled environment within the furnace 14). The pump 70 is located in an elevated area to prevent excessive furnace garbage, rocks and dross from accumulating in and around the pump 70.

An exhaust hood 78 is positioned above the charge chamber 66. The hood 78 is fabricated from steel and is mounted on beams 46 similar to those from which the side walls 54 are fabricated. The beams 46 are positioned on a plate that covers the side wall of the well, essentially capping it off. The hood 78 vents the main furnace chamber 60 through a stack 80 (see FIG. 4). The stack 80 exhausts gases from the furnace 14 and can be closed off to maintain pressure in the furnace 14.

Exhaust gases exit the furnace 14 and flow to a baghouse 82 (FIG. 4). The baghouse 82 is used primarily for collection of unburned carbon from paints, oils, solvents and the like inherent in scrap aluminum processing.

The furnace 14 includes four oxy-fuel burners 84. The burners 84 are installed on a side wall 54 of the furnace 14, opposite the doors 58. Steel is constructed surrounding the burners 84 to allow for mounting the burners 84 and maintaining the surrounding wall rigid.

The furnace 14 is lined with refractory materials. The floor 48 is fabricated from two different refractory materials. The first material 86 is a poured slab, about six inches thick, of a high strength, castable refractory, such as AP Green KS-4, that forms a sub hearth. A floor material 88 is poured above the sub hearth 86 in monolithic fashion having a thickness of about thirteen to fourteen inches. The floor material 88 is an AP Green 70AR refractory. It is a 70 percent alumina, aluminum resistant castable refractory.

The walls 54, 64 and 65 are fabricated from two layers of insulation 90 followed by the 70 AR castable or monolithic, phosphate bonded 85 percent alumina (MONO P85) plastic ramming refractory 92. The alumina content of this material is 85 percent. The backing insulation 90 is insulating board, about two inches thick in the side walls 54 of the furnace and

85
480

about three inches thick on the front and rear walls 64, 65 of the furnace. The difference in insulation 90 thickness is to accommodate thermal expansion of the furnace 14. The furnace walls 54, 64 and 65 will grow about 1/4 inch per linear foot. Thus, the furnace 14 will grow (along the 40 foot length) a total of about 5 inches. In that there is six inches of backing insulation 90 (each the front and rear has three inches), the insulation 90 will crush and allow for growth in the furnace walls 54, 64 and 65 without damaging the furnace shell 42.

Insulating brick 94 is positioned between the crushable insulation board 90 and the cast refractory 92. The roof 56 is fabricated from 70 percent alumina castable refractory. The material is poured into six roof sections. Each door 58 frame is fabricated from 70 percent alumina AR refractory.

The furnace 14 has two sets of tap out blocks (not shown). The first set is positioned on the bottom 52 of the furnace and serve as drain blocks. A second set of blocks is positioned sixteen inches from the floor of the furnace and serves as a transfer set of blocks. The transfer blocks are set on the outside of the furnace for ease of replacement. The inside of the furnace is formed and the blocks are set on the outside and keyed in with a plastic ram.

There are two ramps (not shown) in the furnace, one at each of the main charge doors 58. The ramps are used for deslagging or skimming dross D from the molten metal and for allowing scrap aluminum to slide into the furnace. The ramps are composed of two materials. The base is a low grade aluminum resistant brick, attached to form a ramp. The brick is covered with a castable refractory (about 18 inches thick), such as the 70AR material. The ramp extends from the edge of the sill into the furnace.

The wall 96 that separates the main furnace chamber 60 and the charge well 62 is about 22 inches thick and is formed from 70AR material. The wall 96 is cast as a single monolithic structure.

The furnace 14 can operate in several modes from empty to holding and maintaining molten aluminum. When the furnace 14 is at peak operation it is about 80 percent to 90 percent full. The molten metal is at about 1400° F. and the air temperature in the furnace is about 1800° F. The stack (exhaust) temperature is about 1000° F. Air temperature is measured by a thermocouple 98 in the upper side wall 54 of the furnace 14. Metal temperature is measured at the base of the circulating pump 70.

Scrap is charged or introduced to the furnace in the charge well 62 in increments of about 3,000 pounds. It will be understood that the size or weight of the introduced scrap will vary depending upon the size and capacity of the furnace 14.

Molten metal from the main chamber 60 is pumped onto the cool metal charge by the circulation pump 70. The molten metal transfers heat, by conductivity, to the cold metal charge. The charge metal rapidly heats and melts.

The primary mode of heat transfer to the charged aluminum is by conduction. The large heat sink provided by the full furnace enhances this effective method of heat transfer. When the furnace is 80 percent to 90 percent of capacity there is about 220,000 pounds of molten aluminum at about 1400° F. When scrap is charged into the furnace 14 the bath acts as a heat sink and provides the necessary energy for heat transfer to the charged metal. This is true regardless of the dimensions and capacity of the furnace, as adapted to the present oxy-fuel combustion system. The circulating pump 70 assists melt of the scrap by providing hot molten metal to the charge well 62 from the main furnace chamber 60. In addition, by circulating the molten metal, heat stratification throughout the furnace 14 is maintained low.

It has been found that by pumping or circulating the molten metal, the temperature differential between the top and the bottom of the furnace 14 (a height difference of about 42 inches) is only a few degrees Fahrenheit. Thus, the furnace 14 acts as a stable heat sink to provide a consistent heat source for conduction heat transfer to the charge metal.

Heat is input to the furnace 14 by the burners 84. It is believed that the principal mode of heat transfer to the furnace 14 is radiation, with some convective heat transfer.

Because of the high flame temperatures, the oxy fuel combustion system provides efficient radiative heat transfer. The geometry of the furnace 14 is further designed to increase the heat transfer rate by maximizing the metal surface area over which heat transfer from the flame to the metal occurs.

In addition, the refractory materials above the metal line are made of a high alumina content material. These materials reflect the heat from the burners back into the molten metal. This is in contrast to conventional furnace designs which, rather than reflecting heat back into the molten metal pool, permit much of the heat to escape from the furnace.

For example, traditional furnaces use refractories that have a lower alumina content and a higher insulation value on the upper side walls. The present design, on the other hand, uses higher alumina content refractories in order to reflect more of the radiative heat from the burners 84 to the bath area 60. Again, this is contrary to conventional furnace design. In traditional furnaces the lower side walls (defined as below metal line) use higher alumina refractories for strength. In contrast, the present design uses a lower alumina castable refractory, which is more advanced and has a higher insulating value. In a sense the present design goes completely against the traditional application of refractories.

Moreover, because there is no nitrogen fed to the furnace 14 (other than fuel-borne nitrogen) the volume of hot gases (e.g., exhaust) going through the furnace 14 is very low. Advantageously, this increases the residence time of the gases in the furnace 14 providing additional opportunity for heat transfer to the molten metal. Convective heat transfer, while relatively low, is more efficient than in conventional furnaces. In that the hot gases in the present furnace 14 approach 3000° F. and have a relatively long residence time, much of the heat is removed prior to exhaust.

A present furnace 14 operates at an energy input required to melt of about 1083 BTU per pound. The maximum heat input to the furnace 14 is about 40 million BTU (40 MMBTU) per hour, and typical heat input is about 10 to 12 MMBTU per hour. The heat input will, of course, depend upon the scrap being melted and the production requirements. The furnace is capable of melting up to 40,000 pounds per hour.

The Combustion System

The combustion system, indicated in FIG. 3, generally at 100, is a dual combustion train that operates on a fuel, such as natural gas, fuel oil, waste oil, coal (pulverized, dust and liquefied), and an oxygen source. The system is designed as two complete combustion systems to facilitate maintenance, as well as to conserve energy during low use periods. One oxygen train 102 and one exemplary natural gas fuel train 104 are shown in FIG. 3.

The combustion system 100 is controlled by a control system (illustrated in FIG. 11, indicated generally at 120) that includes a central processing unit ("CPU") 106 that monitors all data inputs from metal temperature, air temperature, fuel and oxygen flow, and provides an operator interface. Each combustion train can be operated individually or in tandem based on operating conditions and requirements.

86
481

87
402

The main process input variable used to control the combustion system 100 is the metal bath temperature as measured by a thermocouple 108. Alternative process input variables include signals from one of several air temperature sensors 98, 110. The control scheme includes inputs from thermocouples (type K) located in the furnace upper wall, exhaust stack and furnace roof, indicated generally as inputs 112. The primary thermocouple 108 is located in the molten metal bath 60. The air thermocouples 112 are sheathed with alumina or like materials to protect the measuring element from the atmosphere. The bath thermocouple 108 is protected from molten metal by a ceramic sheath that is resistant to heat and to the corrosive conditions found in molten metal. The bath thermocouple 108 is configured to signal initiation of the burner system only when the metal bath temperature falls below a preset level.

The stack thermocouple or the roof thermocouple 116 is designed for over temperature protection. This thermocouple 116 is connected to an over-temperature circuit that shuts down the combustion trains 102, 104 to protect the refractory and furnace 14 structure in the event that an over temperature limit is reached.

The upper wall thermocouple 98 is primarily used to monitor the furnace 14 air temperature. It can also be used to operate the furnace 14 in the absence of the molten bath thermocouple 108. The upper wall thermocouple 112 is also used as the process input variable when metal is first being charged in the furnace 14 or when the level of molten metal drops below the molten bath thermocouple 108.

An operator has full control over individual temperature set points. A control panel 118 includes temperature indicators for all of the thermocouples 92, 108, 110, 112, 114, 116. The operator can adjust each thermocouple set point until operation limits are achieved. The operational set point limits can be internally set within the CPU so that any desired temperature range can be established.

The combustion system control system 120 is configured in two parts. The first part 122 includes hard wired safety devices, such as relays, limit switches and the like, as will be recognized by those skilled in the art. These include all gas pressure switches, shut off and blocking valves, and flame detectors. The second part 124 of the control system 120 is monitoring and automatic control functions carried out by the CPU 106.

The gas trains 104 are configured in pairs so that one train can be in service while the other is out of service for, for example, maintenance or low-load/use periods. Each gas train 104 is appropriately sized vis-à-vis oxygen flow requirements. Each gas train 104 commences at a ball-type shut off valve 130. Piping 132 routes the gas through a strainer 134 to remove any debris present in the line. A gas pilot line 136 extends from the piping 132 after the strainer 134.

A backpressure regulator 138 is used to lower the header pressure. Presently, the oxygen pressure is set at about 18 pounds per square inch (psig). A shut off valve 140 and safety valves 142 follow in line. A differential pressure flow meter 144 is located downstream of the safety valves 142. The flow meter 144 measures the temperature and differential pressure of the gas as it flows through an orifice 146. A preset flow meter 144 is a Rosemount model 3085 differential pressure flow meter.

Through these measurements a flow rate is determined and a signal is transmitted to the control system 120. A control valve 148 is in line following the flow meter 144. In a present arrangement, a modulating control valve is used that receives an output signal from the control system 120.

The valve 148 transmits a signal to the control system 120, and specifically, the CPU 106, indicating the actual valve 148 position.

The gas train 104 then splits into two separate lines 104a,b each having a valve 150a,b. The valves 150a,b are used to balance each burner 84 so that the gas flow is evenly distributed.

The oxygen train 102 is similar to the gas train 104, except that the line sizes and components are larger to accommodate the larger flow rate of oxygen. An exemplary oxygen train 102 is illustrated in FIG. 3, in which those components corresponding to fuel train 104 components are indicated by 200 series number identifiers.

Referring to FIG. 10, the burners 84 are a fairly straight forward design. Each of the four burners 84 includes a main inlet nozzle body 152 that extends into the furnace 14. A fuel gas inlet 154 extends to the main inlet body 152 external of the furnace wall 54. Oxygen is input to the main inlet nozzle body 152 and mixes with the fuel gas. An igniter (not shown) extends through a central opening 156 in the main inlet body 152. The igniter provides a spark for ignition of the fuel/oxygen mixture.

Operation of the combustion system 100 is readily carried out by a combination of operated initiated action and automatic control by the CPU 106. Power is provided to the system controls which enables the CPU 106 and the hard-wired safeties portion 122 of the control system 120. The CPU 106 initiates communication with the control valves, thermocouples, and relays that are part of the hard-wired safeties portion 122. The gas and oxygen pressure switches are of a dual hi/low switch design. The low-pressure switch is a normally closed signal while the high-pressure side is a normally open signal. The CPU 106 determines whether a proper signal is present and allows the program to continue. If an improper signal is recognized, audible and visual alarms are actuated. The control scheme also monitors whether the gas and oxygen control valves 148, 248 are in the "low-fire" position. If the control valves 148, 248 are in the proper position, a signal is transmitted that allows the control system 120 to continue the startup procedure. An over-temperature signal must also be clear to allow the system 120 to continue through the start up procedure.

When all of the startup conditions are met, a nitrogen purge cycle is initiated. Nitrogen is used to purge the furnace 14 of any combustible gases that may be remaining in the furnace 14. The nitrogen purge is timed so that the volume of nitrogen through the furnace 14 is about 2.5 times the volume of the furnace 14.

After the purge is complete, one or both of the combustion trains is started. A control switch places either a pair of burners or all of the burners 84 into operation. A flame controller opens the pilot solenoids. The pilot solenoids are normally closed, however, upon starting, the solenoids are opened and gas and oxygen flow through a pilot assembly.

At the tip of the pilot assembly the gases mix and are ignited by a spark emitted controlled by the flame controller. Upon ignition, a flame detector 126 detects the presence or absence of flame and transmits a signal to the control system 120. Once a flame is detected, the control system 120 opens the main blocking valves for both the gas and oxygen.

The main fuel and oxygen shut off valves 140, 240 operate independently. The safety valves 142, 242 are configured such that if the gas valve 148 does not open, the safety valves 142, 242 do not open. When the main gas valve 140 opens, the gas and oxygen safety valves open 142, 242. With all of the main valves open, a control relay is energized as well as an indicator light for each gas train on the control

88
483

panel 118. A pilot timer remains energized for a preset time period, about 30 seconds. Once the preset time duration has elapsed, the pilot circuit is de-energized and the normally closed solenoid valves are de-energized, isolating the pilot assemblies and the pilot indicator light for each burner train.

The flame detectors 126 continuously monitor the flame. Upon loss of flame indication, an alarm signal is transmitted to the CPU 106 and the control circuit isolates the gas and oxygen shut off valves 140, 240 and blocking valves 142, 242.

Once the pilots are de-energized, furnace automatic operation is assumed by the control system 120. While the system 120 is set to "low fire", the oxygen control valves 248 are maintained in the closed position regardless of process and set point values. The gas control valves 148 are not limited in their range since gas flow follows oxygen flow. The control system 120 maintains the gas at the preset ratio.

When operating in the automatic mode, the control system 120 responds to deviations from the process and set point values. Furnace temperature is monitored and matched to the temperature set point. When the process temperature deviates from the set point temperature, an error signal is generated, and the control system 120 transmits a signal to the oxygen control valve 248. The gas control valve 148 is also controlled by the control system 120; the set point variable follows the (stoichiometrically correlated) flow rate of oxygen as established by the oxygen flow meter. The control system 120 is configured to limit the control valves 148, 248 that, in turn, limit the output power of the burners 84.

The combustion system 100, and specifically the control system 120 can be configured to meet any desired application for and in any industry that relies on carbon based fuels. For example, in the present scrap aluminum processing plant 10, there are three applications or uses of the oxygen fueled combustion system 100. The first is for melting aluminum in a high production environment (i.e., in the melting furnace 14). Second, the system 100 is present in the holding furnace 16 primarily for steady state temperature and alloy mixing of the molten aluminum. The last application is in a dross-melting furnace 166 in which high temperature burners are used to release the metal units (aluminum which can be recovered for production) from the dross O (melt byproduct) by thermal shock. In each use, the burners are installed for energy conservation and environmental reasons.

Applications of the present combustion system 100 vary by thermal output (measured in maximum MMBTU per hour), size and orientation of the burners 84, as well as the temperatures at which the furnaces 14, 16, 166 are designed to operate. Those skilled in the art will recognize that mechanical differences (e.g., line sizes and the like) are needed to accommodate these differing needs, and that the specific programming of the control system 120 and CPU 106 may vary.

The present combustion system 100 provides a number of advantages over known and presently used combustion systems. For example, it has been shown through operation that there is considerable energy savings using the present combustion system 100. The oxy-fuel burners 84 operate at a much higher temperature than conventional furnaces. Thus, there is an observed increase in the heat available for melt (in other industrial applications, this increased heat can be made available for, for example, steam generation, refuse incineration and the like). This provides a reduction in the amount of fuel required to operate the furnaces 14, 16, 166. In practice of the present invention, it has been observed that

the average (and estimated) thermal input required per pound of aluminum melted is decreased from about 3620 BTU per pound (in a conventional furnace) to about 1083 BTU per pound in the melting furnace 14. This is a decrease of about 70 percent. In addition, the fuel needed to maintain temperature in the holding furnace 16 has been shown to be about one-half of that of a conventional furnace.

It is believed that the fuel savings is attributed to three principal factors. First, the increased heat of the combustion system 100 permits complete burn of all fuel without excess oxygen. Second, being held to theory, it is believed that the combustion system 100 operates within a radiative (or radiant) heat transfer zone, with some heat transfer by conduction.

The system 100 is designed to take advantage of the radiant heat transfer within the furnaces 14, 16, 166 to transfer heat effectively to the metal baths. Third, because there is no nitrogen in the combustion process, the amount of gas flowing through the furnaces 14, 16, 166 is low. Thus, an increased residence time of the hot gases permits the release of a larger proportion of energy (in the form of heat) prior to exhaust from the furnaces 14, 16, 166.

Typical exhaust gas volume is fractional of that of conventional furnaces. In that there is about 80 percent less gases (essentially the nitrogen component of air) in an oxy-fueled furnace, combustion efficiency is greatly increased. In conventional furnaces, the nitrogen component of air absorbs much of the energy (again, in the form of heat) from the melt. In the present combustion system 100, oxygen (rather than air) and fuel are fed to the furnaces 14, 16, 166 and burned in a stoichiometric ratio. This is carried out without excess oxygen. Thus, there is no energy absorbed by non-combustion related materials e.g., excess oxygen or nitrogen.

The present combustion system 100 also provides for increased production. When installed as part of a melting furnace, the melting capacity or throughput of the furnace will be increased. This again is attributed to the rapid and effective heat transfer in the furnace 14. As new metal is introduced into the furnace 14, the combustion system 100 responds rapidly to provide heat to melt the fed metal and to maintain the heat (temperature) of the molten metal in the pool 60 at the set point temperature. It has been found that aluminum accepts heat very efficiently from a radiative heat source.

Perhaps most importantly, is the reduced environmental impact of the present combustion system 100, compared to presently known and used combustion systems. The present system 100 advantageously uses no nitrogen (from air) in the combustion process. Typically, NOx production occurs in a furnace as a reaction product of the heated air that is fed by the combustion system. However, in that the present system 100 uses oxygen, rather than air, any NOx produced by the present combustion system is due solely to the amount of elemental nitrogen that is in the fuel (i.e., fuel-borne nitrogen). In that fuel-borne nitrogen levels are extremely low (compared to that contributed by air in conventional furnaces), the NOx levels of the present combustion system are well below any industry standards and governmental limitations. In addition to reducing NOx production, the production of other green-house gases, such as carbon monoxide, is also greatly reduced.

In addition, to the reduced environmental impact, the present oxy fuel combustion system conserves energy because significantly more aluminum can be processed at considerably less fuel input (any carbon based fuel, including coal, coal dust, natural gas or oil). As a result of

processing with less fuel usage, conservation of fuel resources is achieved. Essentially, less fuel is used in the aggregate, as well as on a per pound basis to produce aluminum. This reduces processing (e.g., fuel) costs, as well as the taxing use of fossil fuels.

Oxygen Supply

As will be recognized by those skilled in the art, the oxygen requirements for the present combustion system 100 can be quite high. To this end, although oxygen can be purchased and delivered, and stored for use in the system, it is more desirable to have an oxygen production facility near or as part of an oxy fuel combustion system, such as the exemplary scrap aluminum processing plant.

Referring now to FIG. 4, there is shown a cryogenic plant 180 for use with the present combustion system 100. The illustrated, exemplary cryogenic plant 180 produces 105 tons per day of at least 95 percent purity oxygen and 60,000 standard cubic feet per hour of nitrogen having less than 0.1 part per million oxygen. The plant 180 includes a 1850 horsepower three-stage compressor 182. The compressed air, at 71 psig enters a purifier/expander 184. The air exits the expander 184 at a pressure of 6.9 psig and a temperature of -364°F , and enters a cryogenic distillation column 186. In the column 186, air is separated (distilled) into gaseous nitrogen, liquid nitrogen, gaseous oxygen and liquid oxygen. The gaseous oxygen, indicated generally at 188, is fed directly to the combustion system 100 and the liquid oxygen, indicated generally at 190, is stored for example in tanks 191, for later use for in the combustion system 100. The oxygen pressure from the cryogenic plant 180 may be lower than that required for the combustion system 100. As such, an oxygen blower 192 is positioned between the oxygen discharge from the column 186 and the combustion system 100 feed to raise the pressure to that need for the combustion system 100.

The gaseous nitrogen, indicated generally at 194, is fed to a downstream annealing/stress relieving system (not shown) within the plant 10. These systems, which use nitrogen to treat aluminum to relieve stresses in the metal and to anneal the metal, will be recognized by those skilled in the art. In addition, the nitrogen 194 is used in the degassing units 24. The plant 10 also includes a back up supply of oxygen and nitrogen 191, 196, respectively, in liquid form in the event of, for example, maintenance or other situations in which the cryogenic plant 180 cannot supply the plant requirements. The back-up systems 191, 196 are configured to automatically supply oxygen and/or nitrogen as required, such as when the cryogenic plant 180 is off-line. Excess nitrogen can be stored, bottled and sold. Systems such as these are commercially available from various manufacturers, such as Praxair, Inc. of Danbury, Conn.

Heat Recovery

The aluminum processing system 10 also takes advantage of waste heat from the various processes. Specifically, the processing plant 10 can include a waste heat recovery system, indicated generally at 200 in FIG. 4. Exhaust gas, indicated at 202, from the melting furnace 14 and the holding furnace 16 is directed to one side of a waste heat recovery heat exchanger 204. In that the exhaust gas 202 is at a temperature of about 1000°F , there is a considerable amount of energy that can be recovered. In addition, energy can be recovered from the exhaust above as the main furnace bath area 60.

The exhaust gas 202 is directed to the waste heat exchanger 204. A working fluid, indicated at 206, such as pentane, flows through the other side of the heat exchanger 204 under pressure. It is anticipated that a plate-type heat

exchanger or a plate-and-tube type heat exchanger is best suited for this application. Those skilled in the art will recognize the various types of working fluids that can be used for the present waste heat recovery system, as well as the heat exchange systems that are used with these types of working fluids. All such systems are within the scope and spirit of the present invention.

The heated fluid 206 is then directed to a vaporizer 208 where the fluid 206 is allowed to expand into vapor. The vapor 206 is directed to a turbine-generator set 210 to produce electricity. The vapor is then condensed, in a condenser 212, and returned to the heat exchanger 204. It is anticipated that sufficient energy to produce about 1.5 to 2.0 megawatts of power in the form of electricity can be recovered from the exhaust gas 202 from the above-described scrap processing plant 10.

Although a wide variety of working fluid 206 can be employed for use in such a waste heat or waste energy recovery system 200, in a presently contemplated system, pentane is used as the working fluid 206. Such an organic based system provides a number of advantages over, for example, steam-based systems. It is anticipated that a pentane-based working fluid 206, in a standard Rankine-cycle arrangement will allow for variations in vapor supply more readily than a steam-based system. In that the heat output from the furnaces (melting 14 and holding 16) is dependent upon metal production, rather than electrical needs, the energy input to the recovery system 200 is likely to vary and will be the controlling characteristic for power production. As such, a fluid 206 such as pentane provides the greater flexibility that is required for such a recovery system 200.

As will be recognized by those skilled in the art, the electrical power generated can be used to provide some of the power necessary for the scrap processing plant 10, including the cryogenic plant 180. Power for operating the plant 10 can be provided by an oxy fueled combustion system employed in an electric power generating plant (using a furnace or boiler), to generate steam for a steam turbine-generator set. In such an arrangement, when the power generated exceeds plant 10 requirements, the excess power can be sold to, for example, a local electric utility.

Dross Processing

Referring now to FIG. 2, the contaminants or dross D from the melting furnace 14 is further processed, separate and apart from the in-line aluminum recovery in a dross recovery process, indicated generally at 164. The dross D is removed, as by skimming, from the top of the molten aluminum pool 60 in the melting furnace 14. The dross D is pressed in a sieve-like bowl 168 by mechanical means. Pressing pushes the aluminum A from the dross D, through openings 170 in the bowl 168. The aluminum A that is pressed from the dross D is recovered and is returned to the melting furnace 14.

The oxide laden dross is fed into the recovery furnace 166 for reheating. The recovery furnace 166 is of a similar design to the melting furnace 14 in that it uses an oxy-fuel combustion system 100 design. In operation, however, the recovery furnace 166 "shocks" the dross laden material by using near direct flame impingement of about 5000°F . to release the aluminum metal from the dross D. The molten bath 172 temperature in the recovery furnace 166 is also considerably higher, about 1450°F – 1500°F , with a furnace air temperature of about 2000°F – 2200°F . In addition, the "shocking" process is carried out in a highly reduced atmosphere with substantially no excess oxygen within the furnace 166 (in contrast to conventional furnaces that operate at excess oxygen levels of about 3 to 5 percent).

89
404

The recovery furnace 166 is likewise skimmed and the resulting dross is pressed. The recovered aluminum A is transferred to the melting furnace 14. The remaining dross D2 is then sent for processing off-site, to a dross processor, for further aluminum recovery. It has been found that the present process, including the dross recovery process, provides a significant increase in the recovery of metal. The dross D2 that is ultimately shipped for further processing is only a fraction of the original quantity of dross D, thus reducing processing costs and increasing aluminum recovery.

Importantly, the present dross recovery process 164 is carried out without the use of salts or any other additives. Rather, thermal shocking is used to release the metal from the oxides. Known recovery processes use salts to separate the oxides from the metal. In that the salts remain in the oxides, which are in turn disposed of, ultimately, the salts are likewise sent for disposal. These salts can be environmental hazards and/or toxic. As such, the present process 164 is environmentally beneficial in that it eliminates the need for these salts and thus their disposal.

As to the overall processing scheme 164, again, it has been found that the present recovery steps (e.g., double pressing with intermediate reheating) result in aluminum recovery rates that are significantly improved over those of known processes, depending upon the grade of the scrap. Multi-percent increases in the amount of metal recovered from the dross D have been achieved.

Other Applications for the Combustion System

As discussed above, it is apparent that increased efficiencies from the use of oxygen in all continuous processes can be achieved. For example, power generating plants can increase flame temperature or reduce LOI in boilers by introducing oxygen to the burning formula (rather than air). This can increase efficiencies in operation. Essentially, burning of any carbon based fuels can be enhanced by the introduction of oxygen. The benefits are both economical and environmental. To date no industry other than glass-making has embraced oxy fuel technology. In the glass making industry this technology is used not for the efficiencies that result, but because of the high melting temperature required for the glass production process.

Nevertheless, use of oxy-fueled combustion systems in all industrial and power generating applications can provide reduced fuel consumption with equivalent power output or heat generation. Reduced fuel consumption, along with efficient use of the fuel (i.e., efficient combustion) provides greatly reduced, and substantially zero, NOx emissions and significant reductions in the emission of other green-house gases.

Due to the variety of industrial fuels that can be used, such as coal, natural gas, various oils (heating and waste oil), wood and other recycled wastes, along with the various methods, current and proposed, to generate oxygen, those skilled in the art will recognize the enormous potential, vis-à-vis industrial applicability, of the present combustion system. Fuel selection can be made based upon availability, economic factors and environmental concerns. Thus, no one fuel is specified; rather a myriad, and in fact, all carbon based fuels are compatible with the present system. In addition, there are many acceptable technologies for producing oxygen at high purity levels. Such technologies include cryogenics, membrane systems, absorption units, hydrolysis and the like. All such fuel uses and oxygen supplies are within the scope of the present invention. Those skilled in the art will recognize that the other gases produced, such as hydrogen and nitrogen, can be stored, bottled and sold.

As discussed in detail above, one application for the present combustion is scrap aluminum processing or recovery. Other exemplary applications, as will be discussed below, include industrial power generation boilers and incinerators. These exemplary applications focus on the flexibility and applicability of this technology for broad industrial uses.

In general, the use of oxygen fuel fired combustion over current or traditional air fuel systems offers significant advantages in many areas. First is the ability to run at precise stoichiometric levels without the hindrance of nitrogen in the combustion envelope. This allows for greater efficiency of the fuel usage, while greatly reducing the NOx levels in the burn application. Significantly, less fuel is required to achieve the same levels of energy output, which in turn, reduces the overall operating costs. In using less fuel to render the same power output, a natural reduction in emissions results. Fuel savings and less emissions are but only two of the benefits provided by the present system.

Steam generators for the production of electricity, e.g., by industrial power boilers, are varied but are nevertheless fundamentally dependent upon their combustion systems to produce steam to turn a turbine-generator set. The fuels used vary based upon the design of the steam generators. However, all of the boilers require an oxidizing agent. Using the present oxy fuel combustion system, high purity oxygen is used as the sole oxidizing agent throughout the boiler or is used as a supplement to air providing the oxygen for combustion.

The benefits that can be enjoyed by other industrial applications hold-true for the power industry. For example, the use of oxygen within the combustion zone enhances flame temperature while effectively cutting LOI (loss on ignition) by providing readily available oxygen for combustion. By increasing flame temperatures, greater rates of steam generation can be accomplished with the same fuel burn rate. Conversely, equal power generation or output can be recognized with lower fuel burn rates. Flame temperature will be dependant upon the concentration of the oxygen provided for combustion. To this end, with no oxygen supplementation or enrichment (i.e., pure air for combustion), flame temperatures will be about 3000° F. Referring to the above discussion, with pure oxygen as the oxidizing agent, the flame temperature will be about 4500° F. to about 5000° F. The anticipated flame temperatures for varying degrees of oxygen supplementation can be interpolated (it is believed linearly) between these temperatures.

Oxygen can also be used in conjunction with over-fired air systems or low NOx burners to reduce NOx and other green-house gases while ensuring stable flame at stoichiometry. Typical low NOx burners often increase LOI. This requires operators to burn more fuel. By adding enriched oxygen to the combustion process complete burn becomes available for fuel while at stoichiometry without additional nitrogen present (by additional air input) to create NOx.

It is anticipated that boilers will be designed around oxygen fueled combustion systems to take full advantage of the benefits of these systems. It is also anticipated that retrofits or modifications to existing equipment will also provide many of these benefits both to the operator (e.g., utility) and to the environment.

For example, FIG. 12 illustrates, schematically, a coal fired boiler or furnace 300. A wind box 302 is formed at a wall 304 of the furnace 300. A burner 306, through which the coal is introduced into the furnace 300, extends through the wind box 302. The coal is carried to the furnace 300 by a coal conduit 308. Primary air (as indicated at 310) is

70
485

supplied to carry the coal (from a pulverizer, not shown) through the conduit 308 and burner 306 into the furnace 300. Tertiary air (as indicated at 312) is provided to the coal conduit 308 to assure that the coal is conveyed to the burner 306.

Secondary air (as indicated at 314) is provided from the wind 302 directly into the furnace 300 through registers 316 on the furnace wall 304. The secondary 314 air is the primary source of air for the combustion process. In one well recognized and known system for controlling NO_x, an over-fired air system (as indicated at 318) injects air (from the wind box 302), into the furnace 300 over the flame F. The underlying purposes for the over-fired air are two-fold. First is to provide sufficient oxygen to assure complete combustion of the fuel. Second is to reduce the flame temperature and thereby reduce the production of NO_x.

It is anticipated that the present combustion system can replace existing combustion systems, in total, or, in the alternative, can be used to provide an oxygen supplement to the air used for combustion. Specifically, it is anticipated that high purity oxygen can be used in place of any or all of the primary 310, secondary 314 and tertiary air 312 that is used in these known combustion systems. Those skilled in the art will recognize the benefits that can be obtained using the present oxy fuel combustion system (or as in certain applications oxygen supplementation system) in power boilers or furnaces that use other fossil fuels, such as oil or gas.

Use of the present combustion system is also contemplated for use in connection with industrial waste incinerators. Typical waste incinerators operate on the basis of resonant time, temperature and excess oxygen. An oxy-fuel system will allow for greater efficiency in the operation.

Resonant time is dependent upon the physical size of the heated chamber or stack, and the velocity and volume of gases passing through the chamber or stack. As nitrogen is taken out of the mix the resonant time naturally increases because the volume of gas used in the combustion process is less (by about 80 percent). When an incinerator is specifically designed with an oxy-fuel combustion system, the incinerator requires considerably less capital cost because of the reduced size that is required.

Typical flame temperatures of oxy-fueled combustion systems are much higher than air fueled systems. Thus, the efficiency of the burn ultimately requires less thermal input from the fuel, resulting in less operating costs. One of the benefits of the oxy-fuel combustion system is the control over excess oxygen levels that is achieved. In the case of conventional incinerators, excess oxygen is required to burn the volatile organic carbons (VOCs) and unburned carbon. This excess oxygen is provided by injecting air into the chamber or stack where the oxygen (from the air) is used to complete the burn of VOCs and unburned carbon. Although air provides the necessary excess oxygen, it also permits nitrogen into the chamber. The excess nitrogen that is introduced (to provide the excess oxygen) results in increased production of NO_x. Additionally, the excess air, overall, results in the generation of other green-house gases, and further acts to cool the chamber. This undesirable cooling then requires additional heat from the combustion system to overcome this cooling effect.

FIG. 13 illustrates, schematically, a typical industrial furnace 400. Waste (as indicated at 402) is introduced into a stack 404. A burner 406 is fed with air (as indicated at 408) and fuel (as indicated at 410) to produce a flame F. To incinerate the waste 402. A carbon monoxide (CO) monitor 412 is located above the flame F. to determine the level of CO in the exhaust gas. When the level of CO is too high,

additional air is fed to the burner 406. Optionally, air can be fed into the stack from a location 414 apart from the burner 406 to provide the additional air.

There are a number of drawbacks to this method of operation. As discussed above, the two controlling factors in waste incineration are time and temperature. That is, higher temperatures and greater resonant times increase the incineration of the waste. However, the addition of air (to reduce CO levels) increases the flow rate through the stack 404 thus reducing the resonant time. In addition, although the increased air flow reduces flame temperatures (which in turn reduces NO_x production), it also introduces high levels of nitrogen, which tends to increase NO_x production and offset the cooling (and reduced NO_x production) effect. Moreover, because of the cooling effect of the air, the efficiency of the incineration process is reduced.

The present oxy-fuel combustion system, on the other hand, uses high purity oxygen which permits burning the unburned material without the production of NO_x and other green-house gases and without cooling effects. The present oxy-fuel system thus affords several advantages over conventional or traditional incinerator systems. In that the primary duty of an incinerator is to burn VOCs and other contaminants before they reach the atmosphere, the present combustion system reduces the fuel used and thus results in reduced production of NO_x and other green-house gases, and a reduced volume of fine gases generally.

In addition, the installation (e.g., capital) and operating costs of incinerators employing oxygen fueled combustion systems will be greatly reduced. The capital cost of the incinerator will be reduced because the volume of gases through the system is expected to be much lower. As provided above, because the throughput of gas is much less, the overall size of the incinerator can be considerably less than conventional systems while maintaining the same resonant time. Thus, the incinerator can be physically smaller to handle the same waste load, and the required support systems and ancillary equipment and systems can likewise be smaller.

In addition, oxy-fueled combustion systems are generally considerably more efficient than conventional incinerator systems and require a fractional amount of the required energy input. The system also lends itself quite well to incinerator applications in which the fuel is unburned carbon or VOCs. Likewise since there is no nitrogen present in the flame envelope the development of NO_x is kept to a minimum, relegated to NO_x formed from fuel-borne nitrogen only.

The industries described above are only a few exemplary industries that can benefit from the use of the present oxy fuel combustion system. Those skilled in the art will recognize the applicability of this system in the chemical and petro-chemical industries, the power generation industry, plastics industries, the transportation industry and the like. Oxy Fuel Combustion—The Benefits and Advantages

The benefits and advantages of oxy fuel combustion will be appreciated by those skilled in the art. Nevertheless, in an exemplary aluminum scrap processing facility, using an air-fired furnace outfitted for natural gas, it was found that the energy required to process or melt one pound of scrap aluminum (as determined by the cubic feet of natural gas used), was 3,620 BTUs (presented as 3,620 BTUs/lb). That is, about 3.45 standard cubic feet (SCF) of natural gas was used to melt each pound of aluminum. The energy requirement of 3,620 BTU is based upon each SCF of natural gas having a heat content of 1,050 BTUs.

In contrast, using the present oxy fueled combustion system, it was found that only 1.03 SCF of natural gas (or

9H
486

1083 BTUs) was needed to melt each pound of aluminum. Thus, the present oxy fuel combustion system used 1083BTU/3620BTU or 29.9 percent of the fuel required for an air-fired furnace. This is a reduction of 1.0 less 0.299 or about 70 percent in the fuel consumption.

Similar though not quite as drastic reductions in fuel consumption have been observed with an oxy fueled combustion system that uses waste oil as a fuel. It was found that the heat content of the waste oil fuel need to melt each pound of aluminum was 1218 BTUs. Thus, the reduction observed with waste oil was 1218/3620 or 33.6 percent, resulting in a reduction in fuel consumed of about 66 percent. As such, even before considering the reduction in pollutants produced, the present oxy fuel combustion system exhibited reductions in fuel consumption of about 70 percent and 66 percent using natural gas and waste oil, respectively, over an air-fired, natural gas fired furnace.

Table 1, below illustrates a comparison of the pollutants produced using an air-fired (gas fueled, shown as "AIR-GAS") combustion system, an oxy fueled (gas, shown as "OXY-GAS") combustion system and an oxy fueled (waste oil, shown as "OXY-OIL") combustion system. The pollutants shown are carbon monoxide (CO), gaseous nitrogen compounds (NOx), particulate matter under 10 microns in size (PM10), total particulate matter (PT), sulfur containing gaseous compounds (SOx) and volatile organic carbon compounds (VOC).

The data is shown in two forms, tons per year produced (TPY) and pounds produced per million BTUs used (lbs/MMBTU). The parentheticals following the OXY-GAS and OXY-OIL data represent pollutant reductions over those of the air-fired, gas fueled combustion system.

TABLE 1

Pollutant	AIR-GAS		OXY-GAS		OXY-OIL	
	TPY	lbs/MMBTU	TPY	lbs/MMBTU	TPY	lbs/MMBTU
CO	4.88	2.0E-2	1.51	6.0E-3 (68.9)	1.32	5.0E-3 (73.0)
NOx	24.36	1E-1	0	0 (100.0)	20.04	0.041 (98.3)
PM10	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.146	6.0E-4 (-40)
PT	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.146	6.0E-4 (-40)
SOx	0.146	6.0E-4	4.5E-2	1.9E-4 (87)	1.39	5.7E-3 (-94)
VOC	0.002	2.4E-3	4.0E-1	1.6E-3 (91)	1.33	1.4E-2 (-472)

The values for PM10, PT, SOx and VOC for the oxy fueled waste oil combustion system show increases (as negative reductions). This is due in part to no "post-burn" treatment processes used in the exemplary combustion system. It is anticipated that proper "post-burn" processes would include bag houses (for particulate matter) and scrubbers (for sulfur-containing gases) and would result in reductions of at least about 98.99 percent and 95 percent, respectively, in emissions quantities. The values attained in TABLE 1 were based upon the reduction in fuel consumption observed and were determined in accordance with accepted United States Environmental Protection Agency (USEPA) criteria, as determined from USEPA tables AP42 (available from the USEPA website).

It must be noted that the above values are based upon controlling the environment within the furnace in which the oxy fueled combustion system is used. That is, the values shown above that indicate reductions in pollutants for the OXY-GAS and OXY-OIL combustion systems require that

the furnace in which the combustion systems are installed is designed to limit to negligible air in-leakage (i.e., nitrogen in the combustion atmosphere).

Thus, as will be appreciated by those skilled in the art, the use of high purity oxygen (or highly oxygen-enriched air) and any carbon based fuel is highly adaptive to many existing industrial systems. It is anticipated that the use for such a system in standard and conventional industrial applications will provide myriad advantages and benefits over known, presently used air fired and air over-fired systems. Although many present physical plants may require redesign and modification to incorporate the present oxy-fueled combustion systems to enhance performance and production, it is contemplated that the benefits gained by making these changes in design and structure, such as lowered operating costs, e.g., reduced fuel costs, lowered capital costs and reduced emissions, will far outweigh the costs to make these changes.

In the present disclosure, the words "a", or "an" are to be taken to include both the singular and the plural. Conversely, any reference to plural items shall, where appropriate, include the singular.

From the foregoing it will be observed that numerous modifications and variations can be effectuated without departing from the true spirit and scope of the novel concepts of the present invention. It is to be understood that no limitation with respect to the specific embodiments illustrated is intended or should be inferred. The disclosure is intended to cover by the appended claims all such modifications as fall within the scope of the claims.

What is claimed is:

1. A waste incinerator configured to substantially prevent the introduction of air for supporting combustion comprising:

- a combustion region;
- a burner;
- a fuel supply for supplying a fuel;
- an oxidizing agent supply for supplying oxygen for supporting combustion at a predetermined purity;
- a waste supply; for feeding waste to be incinerated into the combustion region;
- means for feeding the oxygen and the fuel and waste into the incinerator in a stoichiometric proportion to one another;
- means for limiting an excess of either the oxygen or the fuel and waste to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and
- means for controlling the combustion of the fuel and waste and the oxygen to produce a flame for incinerating the waste, the combustion being controlled to produce a flame having a temperature in excess of about 4500° F.

93
488

25

2. The waste incinerator in accordance with claim 1, including a further oxygen injector for injecting oxygen into the combustion region.

3. The waste incinerator in accordance with claim 1 wherein the incinerator is configured so as to substantially prevent the introduction of air.

4. A method for incinerating waste comprising the steps of:

providing a waste incinerator configured to substantially prevent the introduction of air for supporting combustion, the incinerator having a combustion region, a burner, a fuel supply, and an oxidizing agent supply;

supplying a fuel to the burner;

supplying oxygen for supporting combustion at a predetermined purity to the burner;

supplying waste to the combustion region;

feeding the oxygen and the fuel and waste into the incinerator in a stoichiometric proportion to each other;

limiting an excess of either the oxygen or the fuel and waste to less than 5 percent over the stoichiometric proportion;

controlling the combustion of the oxygen and the fuel and waste to incinerate the waste so that the fuel and waste and the oxygen are combusted at the burner to produce a flame for incinerating the waste having a temperature in excess of about 4500° F.; and

incinerating the waste.

26

5. The method for incinerating waste in accordance with claim 4 including the step of supplying oxygen to the burner having an oxygen concentration of at least about 85 percent.

6. The method for incinerating waste in accordance with claim 4 including the step of injecting oxygen into the combustion region apart from the step of supplying oxygen at a predetermined purity to the burner.

7. A waste incinerator configured to substantially prevent the introduction of air for supporting combustion, comprising:

a combustion region;

a burner;

a fuel supply for supplying a fuel;

an oxidizing agent supply for supplying oxygen for supporting combustion at a predetermined purity;

a waste supply for feeding waste to be incinerated into the combustion region;

means for feeding the oxygen and the fuel and waste into the incinerator in a stoichiometric proportion to one another;

means for limiting an excess of either the oxygen or the fuel and waste to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and

means for controlling the combustion of the fuel and waste and the oxygen to produce a resonant time for the waste in the combustion region that is greater than a resonant time for incineration of the waste in an air-fuel combustion system.

* * * * *



Industria y Comercio
S U P E R I N T E N D E N C I A

Delegatura de Propiedad Industrial
División de Nuevas Creaciones

SOLICITUD
PATENTE DE INVENCION

21. EXPEDIENTE No. 03.094.940

54. TÍTULO UN INCINERADOR DE DESECHOS DE
OXIGENO-COMBUSTIBLES Y METODO

51. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL F23B 5/00

71. SOLICITANTE JUPITER OXYGEN CORPORATION

DOMICILIO Schiller Park, IL, EEUU

74. APODERADO Fernando Perez Caballero

22. BOGOTÁ, D. C., _____

 Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA		SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO DIVISION DE NUEVAS CREACIONES TARJETA ARCHIVO TEMATICO		490
PATENTE DE INVENCION		☒ PCT	MODELO DE UTILIDAD	DISEÑO INDUSTRIAL
(21) N° de solicitud: 03.094.940 (22) Fecha de solicitud:		FIGURA CARACTERISTICA 6 x 6 cm		
(51) Clasificación Internacional: C 22 B 8 / 00				
(71) Solicitante(s) JUPITER OXYGEN CORPORATION				
(72) Inventor(es) GROSS DIETRICH, M				
(74) Agente: Fernando Perez Castellano				
(30) Prioridad	(31) No. Prioridad	(32) Fecha	(33) País	
	09/843.679	27.04.01	USA	
(85) Fecha inicio fase nacional:		(87) Publicación Internacional:		
(86) Datos relativos a la presentación de la solíc. PCT		Fecha:		
Fecha de presentación de la solicitud:		No. Publicación : WO		
No. de solicitud PCT/				
(54) Título: Metodo de oxigeno-combustible para combustion				
(57) Resumen:				
CONTINUA AL RESPALDO ...				

490



492
441

427

493
492
2

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 07 - 22,096
FECHA : MARZO 15 DE 2007

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
FERNANDO PEREZ	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243291	08/03/2007	900,000.00
CONSUELO ZARANA	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243292	08/03/2007	800,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01	SOLICITUDES	
		1	TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IN
			TOTAL : \$ 482,000.00

SOM: CUATROCIENTOS OCHENTA Y DOS MIL PESOS

4

RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

3 494
49

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 07 - 22,099
FECHA : MARZO 15 DE 2007

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PASO	BANCO	CUENTA	No. PASO	FECHA PASO	Vr. PASO
FERNANDO PEREZ	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243291	08/03/2007	900,000.00
CONSUELO ZARAMA	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	62243292	08/03/2007	800,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01	SOLICITUDES	
		82 INVOCACION DE UNA PRIORIDAD EN NU	135,000.00
		TOTAL :	\$ 135,000.00

SON: CIENTO TREINTA Y CINCO MIL PESOS

RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

DIVISION DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

REF: Expediente No 03.094.940 Solicitud de Registro de Patente de Invención
"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE Y USOS PARA EL" a
nombre de la sociedad JUPITER OXYGEN CORPORATION

RESPUESTA AL CONCEPTO TECNICO.

EL suscrito vecino de Bogotá D. C., abogado titulado, identificado como aparece al pie de mi firma, actuando como apoderado en este asunto, me refiero al auto No 14893 proferido por ese Despacho notificado por Anotación de Estado de Patentes del 29 de diciembre de 2006, y para dar respuesta a dicho requerimiento, me permito solicitar y adjuntar los siguientes documentos:

UNIDAD de INVENCION.

Objeciones con relación a la Unidad de Invención y reivindicaciones.

Atendiendo los requerimientos del Examinador Técnico de la División de Nuevas Creaciones en cuanto a que los objetos aquí solicitados son varios y que por lo tanto se debe proceder a corregir las reivindicaciones, me permito poner a consideración de su Despacho tal como lo dispone el artículo 36 de la Decisión 486 lo siguiente:

Dividir esta solicitud en cuatro solicitudes así:

- SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTIÓN
- MÉTODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO
- UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y MÉTODO

1) Respecto del SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE me permito adjuntar lo siguiente:

- Nueva Descripción de la Invención en 53 folios
- Nuevas Reivindicaciones 1 a 22 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,436,337 B1

2) Para la nueva solicitud de: **METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION** me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 07-22,096 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 07-22,099 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 20 inclusive, en 5 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente US 6,596,220 B2

3) Para la nueva solicitud de: **UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y METODO** me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 23,367 del 21 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,098 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios
- Reivindicaciones 1 a 15 inclusive, en 3 folios
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,797,228 B2

4) Para la nueva solicitud de: **METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR ALUMINIO** me permito adjuntar:

- Comprobante de Pago de una Solicitud No 22,095 del 15 de Marzo de 2007
- Comprobante de Pago de Prioridad No 22,097 del 15 de Marzo de 2007
- Copia simple del Poder
- Copia simple de la Cesión de Derechos del Inventor
- Descripción de la Invención en 53 folios

496-6
497

JOSE JOAQUIN PEREZ & CIA.
ABOGADOS

- Reivindicaciones 1 a 7 inclusive, en 3 folio
- Figuras, 5 folios
- Copia de la Patente No US 6,818,176 B2

Finalmente, dando cumplimiento a lo exigido por el Examinador Técnico de Patentes, solicito a su Despacho que se realice la evaluación de los requisitos de patentabilidad y se proceda a **CONCEDER** el privilegio para las patentes de invención tituladas:

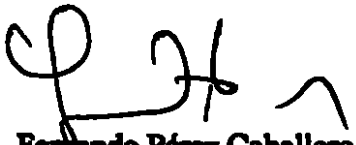
"SISTEMA DE COMBUSTION DE OXIGENO COMBUSTIBLE",

"METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA COMBUSTION",

**"UN INCINERADOR DE DESECHOS DE OXIGENO-COMBUSTIBLE Y
METODO" y**

**"METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE PARA RECUPERAR
ALUMINIO"**

Atentamente,


Fernando Pérez Caballero
C.C. 17.173.340
T.P. 18.531

Bogotá, Marzo 29 de 2007



INDUSTRIAL PROPERTY - COPYRIGHTS PHARMACEUTICAL LICENSES

AGENCY ESTABLISHED IN 1888
Cables: "HERALDO" or "PERMAR"

Air Mail Boxes { 898
3400
6182
Bogotá, Colombia, S.A.

IMPORTANT NOTE

The lodging of this GENERAL POWER with the Patent Office obviates the necessity of presenting special powers with each individual trade mark application.

FOR PATENTS AND TRADE MARKS IN COLOMBIA

Power General

General Power of Attorney

1 Applicant's name

(1) _____

(1) _____

Jupiter Oxygen Corporation

2 Applicant's address

domiciliado en (2) _____

domiciled in (2) _____

4825 N. Scott Street

Schiller Park, IL 60176, USA

3 Leave blank

nombre al Dr. FERNANDO PEREZ CABA-
LLERO y/o MARIA DEL CONSUELO
ZARAMA URDANETA

hereby appoint Dr. FERNANDO PEREZ CABA-
LLERO and/or MARIA DEL CONSUELO
ZARAMA URDANETA

domiciliados en Bogotá, República de Colombia, con dirección en la _____

domiciled in Bogotá, Republic of Colombia, —

_____ de la misma ciudad, como sus representantes con poder especial amplio y suficiente, para recabar de las oficinas y autoridades Colombianas, administrativas, judiciales o de policía, en primera o segunda instancia, la obtención de Patentes de Invención, Registro de Marcas, de Modelos y de Dibujos Industriales, de Nombres Comerciales y Enseñas, lo mismo que traspasos, extensiones, renovaciones, cambios de nombre, registro de licencias de explotación y registro de licencias de uso referentes a tales actuaciones, a cuyo efecto les faculta para dar ante dichas autoridades todos los pasos necesarios al objeto indicado, elevar solicitudes, formular descripciones, enmiendas, protestas, declaraciones, apelaciones y reclamos, solicitar la aplicación de medidas cautelares, aceptar en nuestro nombre y representación la Cesión de derechos de Invención y de patente de Invención que se nos haga por cualquier persona, abonar todos los impuestos, cuotas y pagos determinados por la ley, recibir todos los documentos y valores dando el descargo respectivo, llenar cualesquiera otros requisitos, desistír y tomar en fin todas las medidas que creyeren conducentes al resguardo de nuestros intereses y en caso de presentarse oposiciones para que intervengan como demandantes o como demandados, con todas las demás facultades legales necesarias. Este poder comprende además las facultades de recibir, desistír, transigir, comprometer, sustituir, revocar sustituciones, recibir notificaciones y nombrar apoderados judiciales o extrajudiciales.

Dado y firmado en (4) _____

_____ of the same City, as our representatives with special, ample and sufficient power to obtain from the offices and Colombian authorities, administrative, judicial and police, in first or in second instance, Privileged Patents of Invention, Registration of Trade Marks, of Models and Industrial Drawings, of Commercial Names and ensigns, as well as assignments, extensions, renewals, changes of name, registration of licences of exploitation and of licences of use referring to said actions, who are empowered to take before said authorities all of the necessary steps for the purposes indicated, to file application, to formulate descriptions, corrections, protests, declarations, appeals and claims, apply for precautionary measures, to accept on our behalf and representation the assignment of rights of invention and titles of invention that may be done to us by any person, to pay all taxes, quotas and payments prescribed by law, to receive all the documents and proceeds giving the respective acquittance or receipt; to fulfill any other requisites to desist and take in fact any other measures that may be deemed conducive to the safeguard of our interests, and in case oppositions are presented to intervene as complainant and defendant, with all necessary legal faculties. This power of attorney includes the faculties to receive, desist, compromise, transact substitute it in all or in part, to revoke substitutions, to receive notifications and to appoint extra-judicial or judicial attorneys.

Given and signed in (4) _____

4 Date

5 Applicant's signature

The applicant's signature must be attested by a Notary Public through the NOTARIAL CERTIFICATE: in the «(Individual)», when the signer is a natural person; and in the «(Corporations)», when is a legal one. The Notary's signature must then be legalized by a Colombian Consular Officer. Who must also issue a declaration.

La firma del solicitante debe ser atestada por un Notario Público por medio de la DECLARACION NOTARIAL: en la «(Individual)», cuando el firmante es una persona natural; y en la de «(Sociedades)», cuando es una persona jurídica. La firma del Notario deberá ser legalizada por el Consulado Colombiano.

(5) _____
Corporate Seal to be affixed Jupiter Oxygen Corporation
Mark Schoenfield - Vice President, General Counsel

La declaración Notarial a la vuelta

Notarial acknowledgement on c/her side

[Handwritten signature]

Notary Public.

NOTARIAL CERTIFICATE

DECLARACION NOTARIAL

[TRADUCCIÓN OFICIAL DEL INGLÉS]

498
8
499

[Sello:]

**SELLO OFICIAL
JACQUELINE D. ARNOLD
NOTARIA PÚBLICA, ESTADO DE ILLINOIS
MI COMISIÓN EXPIRA: 04/02/06**

**ESTADO DE ILLINOIS
Secretaría de Estado
SPRINGFIELD, ILLINOIS**

APOSTILLA

(Convención de La Haya del 5 de Octubre de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por: JACQUELINE D. ARNOLD
3. En su calidad de: NOTARIA PUBLICA, CONDADO DE COOK
4. Y lleva el sello de: ESTADO DE ILLINOIS

Certificado

5. En: Springfield, Illinois
6. El día: 3 DICIEMBRE 2003
7. Por: El Secretario de Estado de Illinois
8. Bajo el No.: 80306
9. Sello: SELLO DEL ESTADO DE ILLINOIS
10. Firma: JESSE WHITE, SECRETARIO DE ESTADO DE ILLINOIS

M. Méndez S.
JOSE MIGUEL MENDEZ

Traductor Oficial

Res. 911 de Mayo 1988 MINJUSTICIA

4997
500



SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America
This public document
2. has been signed by JACQUELINE D. ARNOLD
3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC, COOK COUNTY
4. bears the seal/stamp of STATE OF ILLINOIS

Certified

5. Springfield, Illinois
6. DECEMBER 3, 2003
7. by the Secretary of State, State of Illinois
8. No. 80306
9. Seal/Stamp:
10. Signature:

Jesse White

JESSE WHITE
SECRETARY OF STATE
STATE OF ILLINOIS



800
70
501

[TRADUCCIÓN OFICIAL DEL INGLÉS]

DOCUMENTO DE CESION

El suscrito, Dieter M. Gross, domiciliado en 769 Michigan Avenue, Wilmette, Illinois 60091, E.U.A., inventor de la Solicitud Internacional PCT/US02/08701 Fase Nacional en Colombia No. 03.094.940, declara mediante este documento que se ha efectuado la cesión de todos los derechos y títulos de dicha patente sin excepción alguna a Jupiter Oxygen Corporation, domiciliada en 4825 N. Scott Street, Schiller Park, Illinois 60176, E.U.A., pudiendo por consiguiente la Cesionaria ser considerada ahora como la única propietaria de dicha patente para usarla y disponer de ella en el mejor de sus intereses, sin ninguna otra reivindicación en el asunto en nombre del Cesionario en ningún caso ni en ningún momento.

La cesionaria acepta mediante este documento la cesión.

CEDENTE

CESIONARIA

Jupiter Oxygen Corporation

Dieter M. Gross (firma)

Mark Schoenfield (firma)

Vicepresidente, Apoderado General

ESTADO DE ILLINOIS

CONDADO DE COOK

Certifico que Dietrich M. Gross y Mark Schoenfield comparecieron personalmente ante mí y reconocieron que ellos firmaron, sellaron y entregaron debidamente el adjunto documento de cesión como un acto libre y voluntario, hoy 26 Noviembre 2003.

Jacqueline D. Arnold, Notaria Pública - Condado de Cook
(Firma y Sello Oficial)

801 #
502

ESTADO DE ILLINOIS
Secretaría de Estado

SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLA

(Convención de La Haya del 5 de Octubre de 1961)

1. País: Estados Unidos de América
Este documento público
2. Ha sido firmado por: JACQUELINE D. ARNOLD
3. En su calidad de: NOTARIA PUBLICA, CONDADO DE COOK
4. Y lleva el sello de: ESTADO DE ILLINOIS

Certificado

5. En: Springfield, Illinois
6. El día: 3 DICIEMBRE 2003
7. Por: El Secretario de Estado de Illinois
8. Bajo el No.: 80305
9. Sello: SELLO DEL ESTADO DE ILLINOIS
10. Firma: JESSE WHITE, SECRETARIO DE ESTADO DE ILLINOIS

M. Méndez S.
JOSE MIGUEL MENDEZ

Traductor Oficial

Res. 911 de Mayo 1988 MINJUSTICIA



52
72
503

SPRINGFIELD, ILLINOIS

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 Octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by JACQUELINE D. ARNOLD

3. acting in the capacity of NOTARY PUBLIC, COOK COUNTY

4. bears the seal/stamp of STATE OF ILLINOIS

Certified

5. Springfield, Illinois

6. DECEMBER 3, 2003

7. by the Secretary of State, State of Illinois

8. No. 80305

9. Seal/Stamp:

10. Signature:

Jesse White

JESSE WHITE
SECRETARY OF STATE
STATE OF ILLINOIS



503
13
504

ASSIGNMENT DOCUMENT

The undersigned, Dietrich M. Gross, domiciled in 769 Michigan Avenue, Wilmette, Illinois 60091, U.S.A. inventor of the International Application No. PCT/US02/08701 National Phase in Colombia No. 03.094.940 declare by this document that assignment has been made of all rights and titles with no exception, to Jupiter Oxygen Corporation, domiciled in 4825 N. Scott Street, Schiller Park, Illinois 60176, U.S.A., of said patent the Assignee being able to be considered, therefore, as the only owner of said patent, to use the same and to dispose of same to his best interests, without any further claim in the matter on behalf of the Assignor in any case or at any time.

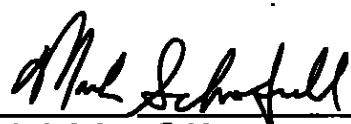
The Assignee by means of this document accepts the assignment.

ASSIGNOR


Dietrich M. Gross

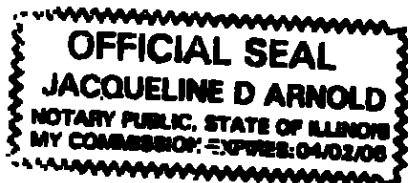
ASSIGNEE

Jupiter Oxygen Corporation

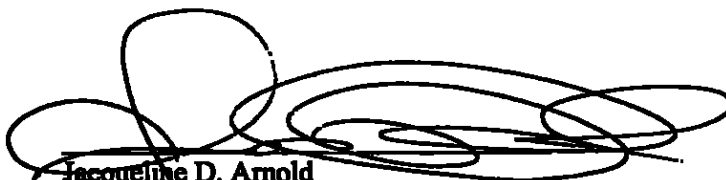

Mark Schoenfield
Its: Vice President, General Counsel

STATE OF ILLINOIS)
)
COUNTY OF COOK)

I hereby certify that Dietrich M. Gross and Mark Schoenfield, before me personally appeared and acknowledged that the foregoing assignment was duly signed, sealed and delivered by them as their free and voluntary act on this 26th day of November, 2003.



(SEAL)


Jacqueline D. Arnold
Notary Public - Cook County

504
44
505

METODO DE OXIGENO-COMBUSTIBLE
PARA COMBUSTION

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[001] La presente invención se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible. Más particularmente se refiere a un sistema de combustión de oxígeno-combustible en el que se reduce la producción de gases invernadero y en el que se reduce el consumo de combustibles fósiles.

[002] Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno son conocidos, sin embargo su uso es bastante limitado. Los sistemas quemadores alimentados por oxígeno generalmente se usan únicamente en aquellas aplicaciones en las que se requieren temperaturas de llama sumamente altas. Por ejemplo estos sistemas pueden usarse en la industria manufacturera de vidrio para lograr las temperaturas necesarias para fundir el sílice a una temperatura de fusión. Por otra parte, comúnmente se acepta que las limitaciones estructurales y materiales dictan las temperaturas máximas a las cuales pueden ser sometidos los sistemas industriales. Para tal fin, sistemas de combustión alimentados por aire o encendidos por aire se usan en calderas, hornos y similares en casi todas las aplicaciones industriales incluyendo manufactura, generación de energía eléctrica y otras aplicaciones procedimentales.

[003] En particular, los sistemas de combustión alimentados por aire o los sistemas de calentamiento eléctrico se usan en todas las industrias de fabricación de acero y aluminio, así como también en la industria generadora de energía, y en otras industrias basadas en combustibles basados en carbono. En los sistemas alimentados por aire, el aire que está constituido por aproximadamente 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno, se alimenta al horno conjuntamente con combustible. La mezcla aire

combustible se inflama creando una llama. La llama transfiere energía en forma de calor de la mezcla aire combustible al horno.

[004] En las industrias del acero y del aluminio, los hornos alimentados por aire y los hornos eléctrico han sido usados como la fuente primaria de calor para crear metales fundidos. Con respecto a los hornos alimentados por aire, convencionalmente se acepta que los requerimientos de energía, equilibrados contra las limitaciones térmicas del equipo procedimental, exigen o sustentan sólidamente el uso de estos tipos de sistemas de combustión. Respecto al uso de hornos eléctricos en la industria del aluminio, la sabiduría convencional también respalda este tipo de fuente de energía para lograr las temperaturas necesarias para el procesamiento del aluminio.

[005] Un inconveniente en el uso de los sistemas de combustión alimentados por aire es que estos sistemas producen compuestos gaseosos de nitrógeno (NOx) y otros gases invernadero tales como dióxido de carbono, dióxido de azufre y similares como resultado inherente del proceso de combustión. Los NOx y otros gases invernadero son un contribuyente mayor a la contaminación ambiental, la cual incluye, sin limitarse a ella, la lluvia ácida. Como tal, es deseable la reducción de la emisión de NOx y de otros gases invernadero y la emisión ha sido considerablemente limitada como resultado de las restricciones regulatorias. Para tal fin, varios dispositivos tienen que ser instalados en estos sistemas de combustión para limitar y/o reducir los niveles de NOx y de otros gases invernadero producidos.

[006] Otro inconveniente de los hornos alimentados por aire es que mucha de la energía liberada del proceso de combustión es absorbida o usada para calentar el nitrógeno gaseoso presente en el aire que es alimentado al horno. Esta energía se desperdicia esencialmente ya que típicamente el gas de nitró-

geno calentado simplemente es despedido de la fuente de calor, por ejemplo del horno. De este modo parte de los costos de la energía son dirigidos al medio ambiente en forma de un cúmulo de gases de desecho y similares. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán fácilmente otros inconvenientes de los sistemas de combustión alimentados por aire que se conocen.

[007] Los hornos eléctricos también tienen sus inconvenientes. Por ejemplo, algo inherente a estos sistemas es también la necesidad de una fuente de electricidad que esté disponible permanentemente, esencialmente sin interrupción. Debido al hecho de que para el funcionamiento de estos hornos eléctricos se requieren grandes cantidades de energía eléctrica, típicamente es necesario tener ubicados estos hornos eléctricos en la cercanía de las plantas generadoras de energía y/o tener grandes servicios de transmisión eléctrica. Además los hornos eléctricos requieren una considerable cantidad de mantenimiento para garantizar que los hornos funcionen con eficiencia óptima o casi con eficiencia óptima. Además un hecho inherente al uso de hornos eléctricos es la ineficiencia en convertir un combustible en energía eléctrica (la mayoría de las estaciones de energía alimentadas por combustibles fósiles que usan turbinas de vapor funcionan a niveles de eficiencia menores de aproximadamente 40 por ciento y generalmente menores de aproximadamente 30 por ciento). Además estas grandes estaciones alimentadas por combustibles fósiles producen cantidades sumamente grandes de NOx y de otros gases invernadero.

[008] Por ejemplo en la industria procesadora de aluminio y más específicamente en la industria de recuperación de retal de aluminio, la sabiduría convencional dice que las temperaturas de llama en los hornos deben ser mantenidas entre aproximadamente 1371°C y 1649°C. Se cree que en este ámbito de temperatura se logra un equilibrio entre la energía necesaria para proporcionar suficiente calor para fundir el retal de alu-

minio y mantener temperaturas apropiadas del metal en el baño fundido a aproximadamente 788°C. Los hornos conocidos utilizan un diseño en el que las temperaturas de llama típicamente no superan 1649°C para garantizar el mantenimiento de la integridad estructural de estos hornos. Es decir, se cree que sobrepasar estos límites de temperatura puede debilitar la estructura de soporte del horno y, así, resultar en accidentes catastróficos. Además, las temperaturas de escape para hornos convencionales son por lo general aproximadamente 871°C. Así, la diferencia de temperatura entre la llama y el escape es tan solo aproximadamente 760°C. Esto resulta en un ineficiente uso de la energía para el proceso de combustión.

[009] Se cree también que las pérdidas de energía y el potencial daño al equipo de hornos en los que las temperaturas de llama sobrepasan aproximadamente 1649°C superan con creces cualquier eficiencia de funcionamiento que se pueda alcanzar mediante más altas temperaturas de llama. Así, de nuevo la sabiduría convención respalda totalmente el uso de hornos alimentados por aire en los que las temperaturas de llama están en un límite superior de aproximadamente 1649 °C (por estequiometría de llama) que garantiza la integridad del horno y reduce las pérdidas de energía.

[010] Por consiguiente, existe una necesidad de un sistema de combustión que proporcione las ventajas de reducir la contaminación ambiental (atribuible al NOx y a otros gases invernadero) y al mismo tiempo proporcione un uso eficiente de la energía. Es deseable que tal sistema de combustión se pueda usar en una amplia variedad de aplicaciones industriales, desde la industria generadora de energía hasta las industrias procesadoras químicas, la producción y el procesamiento de metales, etc. Tal sistema de combustión se puede usar en aplicaciones de procesamiento de metales, por ejemplo aluminio, en los que el sistema de combustión proporciona mayor eficiencia energética y menor contaminación. También existe una necesidad

78508
509

(específicamente en la industria procesadora de retal de aluminio) de equipos de procesamiento (específicamente hornos) que estén diseñados y configurados para resistir elevadas temperaturas de llama asociadas con dicho eficiente sistema de combustión y para aumentar la eficiencia energética y reducir la producción de contaminación.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

[011] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible incluye un horno que tiene un medio ambiente controlado e incluye al menos un quemador. El sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una pureza predeterminada y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono. El presente sistema de combustión aumenta la eficiencia del combustible consumido (es decir requiere menos combustible), produce cero NOx (a no ser el contenido por las fuentes combustibles) y significativamente menos otros gases invernadero.

[012] El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[013] El sistema de combustión preferiblemente incluye un sistema de control para controlar el abastecimiento del combustible basado en carbono y para controlar el abastecimiento de oxígeno al horno. En el sistema de control, el abastecimiento de combustible sigue al abastecimiento de oxígeno al horno. El abastecimiento de oxígeno y de combustible es controlado por la temperatura predeterminada del aluminio fundi-

509
79
510

do. En este arreglo, un sensor detecta la temperatura del aluminio fundido.

[014] El combustible basado en carbono puede ser cualquier tipo de combustible. En una forma de realización el combustible es un gas tal como gas natural, metano, etc. Alternativamente el combustible es un combustible sólido tal como carbón o polvo de carbón. Y alternativamente el combustible es un combustible líquido tal como fuel-oil, incluyendo petróleos de desecho.

[015] En un uso a modo de ejemplo, el sistema de combustión se usa en un sistema de recuperación de retal de aluminio para recuperar aluminio del retal. Tal sistema incluye un horno para contener el aluminio fundido a una temperatura predeterminada, el cual tiene al menos un quemador. El sistema de recuperación incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno al horno mediante el sistema de combustión. Para lograr la máxima eficiencia, el abastecimiento de oxígeno tiene una pureza de oxígeno de al menos aproximadamente 85 por ciento.

[016] Un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece un combustible basado en carbono. El combustible basado en oxígeno y el basado en carbono se alimentan al horno en proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión del combustible basado en carbono proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno con una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[017] En tal sistema de recuperación, la combustión del oxígeno y del combustible crea energía que se usa para recuperar aluminio del retal a una tasa de aproximadamente 2519 Joules por kg de aluminio recuperado. El combustible puede ser un gas

tal como gas natural, o puede ser un combustible sólido o un combustible líquido.

[018] En el sistema de recuperación el calor del horno puede ser recuperado en un sistema de recuperación de calor de desecho. El calor recuperado puede ser convertido en energía eléctrica.

[019] En un sistema muy preferido el sistema de combustión incluye un sistema para proporcionar oxígeno. Un sistema tal separa el aire en oxígeno y nitrógeno, tal como un sistema de separación criogénico. Otros sistemas incluyen separación de membranas y similares. El oxígeno también puede ser abastecido mediante la separación de agua en oxígeno e hidrógeno. En tales sistemas el oxígeno se puede almacenar para ser usado a medida que se necesita. Se conocen otros sistemas para generación/separación de oxígeno.

[020] El sistema de combustión de oxígeno-combustible se puede usar generalmente con cualquier horno que tenga un medio ambiente controlado. Esto es con cualquier horno que substancialmente no tenga fuga alguna desde el medio ambiente exterior al interior. Tal sistema de combustión incluye un abastecimiento de oxígeno para abastecer oxígeno de una determinada pureza y un abastecimiento de combustible basado en carbono para abastecer un combustible basado en carbono.

[021] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible basado en carbono son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. En tal horno, una corriente de gas de escape del horno tiene substancialmente cero compuestos gaseosos producidos por la combustión que contengan nitrógeno. Esto es, como no se alimenta nitrógeno con el combustible, a menos que el combustible contenga nitrógeno, el gas de escape substancialmente no

contiene productos de combustión que contengan nitrógeno (es decir NOx) y niveles significativamente reducidos de otros gases invernadero.

[022] Este sistema de combustión puede usar cualquier combustible basado en carbono, incluyendo gas como gas natural o metano, cualquier combustible sólido como carbón o polvo de carbón, o cualquier combustible líquido como petróleo, incluyendo petróleos de desecho refinados. En tal sistema de combustión los compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión se forman a partir del nitrógeno contenido en el combustible.

[023] Un método para recuperar aluminio del retal incluye alimentar retal de aluminio en un horno de fusión y someter a combustión en el horno oxígeno y combustible basado en carbono. En la combustión de oxígeno y combustible, el oxígeno y el combustible son alimentados al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[024] El aluminio se funde en el horno, el aluminio cargado de contaminantes se retira del horno y el aluminio fundido substancialmente puro se descarga del horno. El método puede incluir el paso de recuperar el aluminio del aluminio cargado de contaminantes, es decir escoria, y cargar en el horno el aluminio recuperado.

[025] El método puede incluir recuperar el calor de desecho del horno. El calor de desecho recuperado puede ser convertido en electricidad.

512
27
513

[026] Un horno para recuperar aluminio del retal de aluminio incluye una región de baño para el aluminio fundido contenido a una temperatura predeterminada y al menos un quemador. Un abastecimiento de oxígeno abastece oxígeno de una pureza mínima de aproximadamente 85 por ciento, y un abastecimiento de combustible basado en carbono abastece combustible tal como gas natural, carbón, petróleo, etc.

[027] El oxígeno del abastecimiento de oxígeno y el combustible se alimentan al horno en una proporción estequiométrica uno respecto al otro para limitar un exceso ya sea de oxígeno o del combustible basado en carbono a menos de 5 por ciento por encima de la proporción estequiométrica. La combustión proporciona una temperatura de llama superior a aproximadamente 2482°C y una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593°C.

[028] En una forma de realización el horno está formado de placa de acero, vigas de acero y materiales refractarios. La paredes del horno están configuradas con una viga de acero y armazón de placa, al menos una capa de material aislante prensable, al menos una capa de ladrillo refractario y al menos una capa de material refractario moldeable. El piso del horno está configurado con una viga de acero y armazón de placa y al menos dos capas de material refractario, siendo al menos una de las capas de material refractario moldeable.

[029] También se revela un método que no usa sal para separar aluminio del aluminio cargado de escoria, método que incluye los pasos de introducir al horno el aluminio cargado de escoria. El horno tienen un sistema de combustión de combustible de oxígeno que produce una temperatura de llama de aproximadamente 2760°C y no tiene substancialmente exceso de oxígeno. El aluminio cargado de escoria se funde dentro del horno.

[030] Una porción superior del aluminio cargado de escoria fundido se quita ("se desnata") para producir un producto

S13
23
514

fuertemente cargado de escoria. El producto fuertemente cargado de escoria se prensa en una prensa mecánica para separar el aluminio del producto fuertemente cargado de escoria y producir un producto concentrado fuertemente cargado de escoria. El método puede incluir el paso de retornar al horno el producto concentrado fuertemente cargado de escoria. La introducción al horno del aluminio cargado de escoria se efectúa bajo incidencia directa cercana de la llama con el fin de liberar los óxidos de la escoria.

[031] Esta y otras ventajas de la presente invención se harán evidentes en la siguiente descripción detallada conjuntamente con las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[032] Los beneficios y las ventajas de la presente invención se harán más fácilmente evidentes para las personas de conocimiento corriente de la técnica relevante luego de examinar la siguiente descripción detallada y las figuras adjuntas.

[033] La FIG. 1 es una esquema general de flujo de un ejemplo de un proceso de recuperación de retal de aluminio que tiene un horno de fusión con un sistema de combustión de oxígeno-combustible, en el cual se han reducido la producción de gases invernadero y el consumo de combustible, sistema el cual incorpora los principios de la presente invención;

[034] La FIG. 2 es un esquema general de flujo de una operación de procesamiento de escoria y continuación de la FIG. 1 que tiene un horno de recuperación que tiene un sistema de combustión de oxígeno-combustible incorporando los principios de la presente invención;

[035] La FIG. 3 es un ejemplo de un tren de abastecimiento de gas natural y un tren de abastecimiento de oxígeno para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

S14
29
S13

[036] La FIG. 4 es un esquema general de planta que muestra el abastecimiento de oxígeno de una planta criogénica, y el flujo a los hornos, y además ilustra un ejemplo de una planta de recuperación de calor de desecho;

[037] La FIG. 5 es una ilustración esquemática de un horno de fundición de aluminio para usar con un sistema de combustión de oxígeno-combustible de acuerdo con los principios de la presente invención;

[038] La FIG. 6 es una vista lateral del horno de la FIG. 5;

[039] La FIG. 7 es una vista frontal del horno de la FIG. 6;

[040] Las FIGS. 8 y 9 son ilustraciones parciales de sección transversal de una pared lateral y del piso del horno respectivamente;

[041] La FIG. 10 ilustra un ensamblaje quemador para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible;

[042] La FIG. 11 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema de control para usar con el sistema de combustión de oxígeno-combustible de la presente invención;

[043] La FIG. 12 es una vista esquemática de un ejemplo de una pared de una caldera de energía u horno que ilustra un quemador y un arreglo alimentado por aire y muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención;

[044] LA FIG. 13 es una ilustración esquemática de un incinerador de desechos que muestra la incorporación allí de un sistema de combustión de combustible de oxígeno que incorpora los principios de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

[045] Si bien la presente invención puede ser realizada en diferentes formas, en las figuras se muestra y en adelante se

describirá una forma de realización preferida, entendiéndose que la presente revelación ha de ser considerada como una ejemplificación de la invención y no tiene el propósito de limitar la invención a la forma de realización ilustrada. Se ha de entender además que el título de esta sección, "Descripción Detallada de la Invención", se refiere al requisito de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos y no implica ni se debe inferir una limitación al asunto revelado aquí.

[046] Un sistema de combustión de oxígeno-combustible usa esencialmente oxígeno puro en combinación con una fuente de combustible para producir calor mediante producción de llama (es decir combustión) de una manera eficiente no-adversa en términos medio-ambientales. Se puede usar oxígeno, que es abastecido por un agente oxidante, en una concentración de aproximadamente 85 por ciento a 99+ por ciento, sin embargo es preferible tener una concentración de oxígeno (es decir una pureza de abastecimiento de oxígeno) tal alta como sea posible. En tal sistema, oxígeno de alta pureza se alimenta, conjuntamente con la fuente de combustible en proporciones estequiométricas, a un quemador en un horno. El oxígeno y el combustible se ponen en combustión para liberar la energía almacenada en el combustible. Para los propósitos de la presente revelación, la referencia al horno se ha de interpretar en términos amplios para que incluya cualquier generador de calor industrial o comercial que haga combustir combustibles fósiles (basados en carbono). En un sistema preferido la concentración o la pureza del oxígeno es tal alta como sea posible con el fin de reducir la producción de gases invernadero.

[047] Se ha contemplado que se pueda usar esencialmente cualquier fuente de combustible. Por ejemplo, en una aplicación presente, como se describirá abajo en más detalle, el oxígeno es alimentado conjuntamente con gas natural para la combustión en el horno. Otras fuentes de combustible contempladas incluyen petróleos refinados y de desecho, madera, car-

bón, polvo de carbón, desechos de basura, etc. Las personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán las miriadas de fuentes de combustible que se pueden usar con el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible.

[048] El presente sistema se aparta de los procesos convencionales en dos áreas principales. Primero, los procesos de combustión convencionales usan para la combustión aire (como agente oxidante para abastecer oxígeno) y no oxígeno esencialmente puro. En la combustión se usa el componente de oxígeno en el aire (aproximadamente 21 por ciento), mientras que los restantes componentes (esencialmente nitrógeno) son calentados en el horno y expulsados de él. Segundo, el presente proceso usa oxígeno en una proporción estequiométrica respecto al combustible. Es decir únicamente se alimenta suficiente oxígeno en proporción al combustible para garantizar la completa combustión del combustible. Así, no se alimenta "exceso" de oxígeno al sistema de combustión.

[049] Usando el presente sistema de combustión se logran muchas ventajas y beneficios. Tal como se describirá abajo, se ha observado que el consumo de combustible para producir una cantidad equivalente de energía o de calor se reduce en ciertas aplicaciones hasta en un 70 por ciento. Significativamente esto puede proporcionar una tremenda reducción en la cantidad de contaminación resultante. También, en ciertas aplicaciones, la emisión de NOx puede reducirse esencialmente a cero y la emisión de otros gases invernadero puede ser reducida hasta en un 70 por ciento respecto a sistemas de combustión convencionales alimentados por aire.

Un Ejemplo de Proceso de Recuperación de Aluminio del Retal

[050] En un uso específico, el sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa en una planta 10 de recuperación de aluminio del retal. En las FIGS. 1 y 2 se ilustra un proceso de flujo de un ejemplo de planta. Retal de aluminio, general-

mente señalado como 12, se alimenta al horno de fusión 14 y se licúa. La planta 10 puede incluir múltiples hornos que operan en paralelo 14, uno de los cuales se ilustra. El aluminio licuado o fundido se retira del horno de fusión 14 y se alimenta a un horno de almacenamiento temporal 16. El horno de almacenamiento temporal 16 también es un horno de oxígeno-combustible. El aluminio fundido se retira del horno de fusión 14 a medida que va siendo necesario para mantener cierto nivel predeterminado en el horno de almacenamiento temporal 16. Esto puede resultar en un continuo retiro del horno de fusión 14 o retiro en "lotes" según se requiera.

[051] Al horno de almacenamiento temporal 16 se alimentan cloro y nitrógeno (como gas) según se indica en 18 y 20 respectivamente con el fin de facilitar el retiro de las impurezas del aluminio fundido. El cloro y el nitrógeno funcionan como agente gaseoso de flujo para retirar las impurezas del aluminio. Esto también se puede efectuar en los hornos de fusión 14 para aumentar la limpieza del retal aceitoso y sucio. Otros agentes de flujo contemplados incluyen hexafluoruro de argón gaseoso. El horno de almacenamiento temporal 16 se calienta activamente y funciona a una temperatura de metal fundido de aproximadamente 704°C. La temperatura del aire en el horno de almacenamiento temporal 16 es levemente más alta.

[052] Luego se filtra el aluminio fundido. Ahora se usa un filtro particulado 22 tipo bolsa. No obstante se conocen otros tipos de filtros y se pueden usar. El aluminio fundido filtrado se alimenta luego a través de un desgasificador 24.

[053] En el desgasificador 24 se alimenta un agente de flujo, tal como un gas inerte (de nuevo se usa nitrógeno, según se indica en 26) al aluminio fundido. Se agita el aluminio fundido, por ejemplo mediante un agitador mecánico 28 y el agente de flujo 26 burbujea hacia arriba a través del aluminio

218
28
319

fundido para eliminar las impurezas (por ejemplo óxidos) del aluminio.

[054] Después el aluminio fundido se alimenta en un moldeador 30 en línea. En el moldeador 30 el aluminio es moldeado para formar una placa continua. El espesor del molde puede ser de 0,0254 cm hasta 1,905 cm o más. Luego el aluminio puede ser enrollado como se indica en 32 para ser usado o para ser procesado adicionalmente. En un presente método el aluminio pasa desde el moldeador 30 a través de un par de rectificadoras 34 calientes en donde la placa es laminada para que tenga un espesor final o calibre de aproximadamente 0,21 cm (82 mils) y luego se enrolla para formar el rollo 32. Las personas con experiencia en este campo de la técnica entenderán y apreciarán los varios procesos de formación y terminado final que se le pueden efectuar al metal. Todos esos procesos de formación y terminado están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[055] Volviendo ahora al horno de fusión 14, éste es un horno de oxígeno-combustible. El es alimentado con un combustible basado en carbono, por ejemplo gas natural, en proporción estequiométrica con oxígeno. Esto se diferencia de los hornos conocidos que usan mezclas de aire y combustible. Las mezclas de combustible y aire alimentan tanto nitrógeno como oxígeno al horno para respaldar el proceso de combustión. Esto resulta en la producción de gases de desecho de NOx indeseables. Además, el nitrógeno también absorbe energía del aluminio fundido, reduciendo entonces la eficiencia total del proceso. O sea que debido a que el porcentaje de nitrógeno en el aire es tan grande, una gran cantidad de energía se va calentado el nitrógeno y no el aluminio.

[056] Las proporciones oxígeno:gas natural en los presentes hornos de fusión y de almacenamiento 14 y 16 son aproximadamente 2,36:1. Esta proporción variará dependiendo de la pureza

del abastecimiento de oxígeno y de la naturaleza del combustible. Por ejemplo, bajo condiciones perfectas de oxígeno 100 por ciento puro se calcula teóricamente que la proporción sea 2,056:1. Sin embargo, el abastecimiento de oxígeno puede tener hasta aproximadamente 15 por ciento de constituyentes que son no-oxígeno y el gas natural no es siempre 100 por ciento puro. Por lo tanto, las personas con experiencia en esta campo de la técnica apreciarán y comprenderán que estas proporciones puede variar levemente, pero la base para calcular las proporciones, o sea las proporciones estequiométricas de combustible y oxígeno, sigue siendo verdadera.

[057] Esta proporción de oxígeno respecto a combustible proporciona varias ventajas. Primero, esta estequiometría proporciona completa combustión del combustible, resultando así en menos monóxido de carbono, NOx y otras emisiones nocivas de gases de desecho (generalmente otros gases invernadero). Además, las proporciones de oxígeno controladas también reducen la cantidad de óxidos presentes en el aluminio fundido. Esto, a su vez, proporciona una mejor calidad del producto de aluminio final y menos procesamiento para eliminar estos contaminantes óxidos indeseables.

[058] Es importante anotar el hecho de que controlar con exactitud la proporción de oxígeno respecto a combustible garantiza la combustión completa del combustible. Esto en absoluto contraste con, por ejemplo, las plantas de energía alimentadas fósilmente (por ejemplo las plantas de energía utilitaria), que luchan con la pérdida de ignición. Esencialmente la pérdida de ignición es equiparable con una combustión incompleta del combustible. En el presente método, por otra parte, el oxígeno substancialmente puro y en proporción estequiométrica estrictamente controlada respecto al combustible minimiza y posiblemente elimina esas pérdidas. Además, en el presente método el único NOx teórico disponible es N Ox contenido por el combustible y no el que de otra manera podría resultar

de la combustión al utilizar aire. Así, si el NOx no es eliminado completamente sí es reducido a una cantidad insignificante en comparación con los sistemas de combustión convencionales.

[059] Los óxidos en el aluminio provienen de dos fuentes principales. Primero, del proceso de combustión; segundo, de óxidos que residen en el aluminio. Esto es así particularmente con retal de bajo grado o con metal primario. El presente proceso toma en consideración estas dos fuentes de óxidos y reduce o elimina su impacto sobre el producto de aluminio final. Primero, el presente proceso reduce los óxidos que se podrían formar como resultado del oxígeno alimentado para la combustión del combustible. Esto se logra controlando rigurosamente el oxígeno alimentado para que sea únicamente el necesario por proporción estequiométrica para la completa combustión del combustible.

[060] El presente proceso toma en consideración la segunda fuente de óxidos (la que reside en el aluminio) y elimina estos óxidos mediante los procesos de desgasificación y filtrado. Los beneficios son de dos. El primero es que se forma menos producto secundario en forma de escoria D; segundo, se mejora grandemente la calidad del producto terminado.

[061] Se ha encontrado también que usar una mezcla de combustible y oxígeno (y no una mezcla de combustible y aire) resulta en temperaturas de llama más altas en el horno de fusión. Usando oxígeno-combustible se logran temperaturas de llama en el horno de aproximadamente 2760°C. Esto representa aproximadamente 816°C a 1093°C más altas que otros hornos conocidos. También se ha observado que usando oxígeno-combustible, conjuntamente con estas temperaturas de llama más elevadas, resulta en un proceso de eficiencia sumamente alta. En una medida de la eficiencia se mide la energía requerida (en Joules) por kg de aluminio procesado. En un proceso cono-

cido la energía requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg de producto procesado. En el presente proceso y aparato los requerimientos de energía son considerablemente menores, aproximadamente $2,52 \times 10^6$ J/kg de metal procesado. Hay que anotar también que aunque el "combustible" mencionado arriba en referencia al presente método es gas natural, se puede usar cualquier combustible de base orgánica, por ejemplo petróleo (incluyendo petróleo de desecho), carbón, polvo de carbón, etc.

[062] Para el propósito de entender la termodinámica del proceso, la energía teórica requerida para fundir una kilogramo de aluminio es $1,17 \times 10^6$ J. Sin embargo, debido a que son inherentes ineficiencias específicas al proceso, se encontró que la energía real requerida es aproximadamente $8,42 \times 10^6$ J/kg al usar un sistema de combustión activado por aire. Estas ineficiencias incluyen, por ejemplo, el hecho de que los períodos de procesamiento reales son menores que el tiempo real que el horno está "activado" y otros cambios a lo largo del proceso, tales como aumentos o disminuciones de la anchura de moldeado. Además otras "pérdidas", tales como pérdidas de calor de escape y pérdidas de calor a través de las paredes del horno, se agregan a esta diferencia de energía.

[063] Además, el valor de $2,52 \times 10^6$ J/kg es un requisito de energía promedio, incluso tomando en cuenta estas "pérdidas". Se ha encontrado que cuando el proceso corre a una alta tasa de eficiencia, esto es cuando el aluminio se procesa casi continuamente en vez de mantener el horno "activado" sin procesamiento, el requisito "promedio" de energía se puede reducir hasta aproximadamente $1,74 \times 10^6$ J/kg a $2,1 \times 10^6$ J/kg.

El Horno de fusión

[064] Un presente horno de fusión 14 se construye principalmente de acero y materiales refractarios. Haciendo referencia a las FIGS. 5-9, el armazón 42 del horno tiene dimensiones exteriores de aproximadamente 6,1 m de ancho por 12,2 m de

largo por 3,66 m de altura. La estructura del armazón de acero 42 está formada por placas y vigas. Las placas y las vigas se identifica como 44 y 46 respectivamente para la armazón 42 del horno, excepto si se indica otra cosa distinta. El piso 48 está hecho en placas 44 de acero de 2,54 cm de espesor que están soldadas entre sí. Cada soldadura está sobre una viga 46 para garantizar la integridad del armazón 42 del horno.

[065] Se proporcionan vigas 46 adicionales para soporte del piso 48 del horno. Cada viga 46 proporciona una pestaña de 8 pulgadas de ancha aproximadamente cada 45,7 cm respecto al centro. Todas las vigas 46 (exceptuando las vigas de junta que tienen completamente soldadura de unión) están apuntadas a la placa 50 del piso. Esto permite "crecimiento" en el acero debido a la expansión térmica durante el calentamiento.

[066] Las vigas 46 proporcionan soporte y rigidez al piso 52 del horno. Las vigas 46 mantienen el horno 14 rígido para reducir el flexionamiento durante la instalación del material refractario y durante el uso a largo plazo. Las vigas 46 también proporcionan soporte de modo que durante el funcionamiento del horno 14 se minimiza la carga mecánica sobre los materiales refractarios. Las vigas 46 también elevan el piso 52 del horno del piso sobre el que está montado el horno 14. Esto permite el escape del calor que se forma debajo del horno 14.

[067] Las paredes laterales 54 del horno también están hechas de placa de acero y construcción de vigas. Se identifican dos regiones de pared, arriba de la línea del metal y debajo de la línea del metal. Esta diferenciación se hace por consideraciones tanto de resistencia como de valor térmico.

[068] Debajo de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,9 centímetros. Arriba de la línea del metal la placa tiene un espesor de 1,6 centímetros. En el presente horno, se considera (para propósitos de diseño) que los primeros 2,44 m están por debajo de la línea del metal y se considera (para

propósitos de diseño) que los 1,22 m superiores están arriba de la línea del metal.

[069] Las vigas 46 se usan para sostener las paredes laterales 54 del horno 14. Las vigas 46 están colocadas en líneas centrales de 45,7 cm que corren verticalmente a lo largo del horno 14. Las vigas horizontales 46 están colocadas en centros de 45,7 cm debajo de la línea del metal y en centros de 61 cm arriba de la línea del metal. Aunque la línea del metal en el horno 14 varía, ella es (por consideraciones de diseño) el nivel más alto de metal que habrá en el horno 14 durante el funcionamiento normal. Se pueden considerar factores adicionales en los que, por ejemplo, se puede asumir que la línea del metal esté 22,9 cm arriba de la línea de llenado máximo del horno 14.

[070] El techo 56 del horno 14 es un diseño refractario colgante. Las vigas 46 están en centros de 45,7 cm por toda la anchura del horno 14. Vigas adicionales 46 están soldadas a las vigas que se extienden por toda la anchura y dichas vigas adicionales están orientadas por todo lo largo del horno 14. Se han montado ganchos sujetadores a las vigas, a las cuales se han montado bloques refractarios premoldeados.

[071] El horno 14 tiene dos puertas principales 58 en el lado 54. Las puertas 58 se usan durante el funcionamiento para limpiar o para quitar la superficie del contenido de la cámara principal de calor o área de baño 60 y para cargar dicha cámara 60. Dentro del horno 14 se forma escoria D (la escoria contaminante que constituye la superficie del aluminio fundido) y debe ser quitada al menos una vez al día para mantener los porcentajes de transferencia de calor. La escoria D se elimina abriendo las puertas 58 y quitando ("desnatando") la superficie del pozo de metal fundido.

[072] Aunque durante el funcionamiento típico se coloca metal o retal en el pozo de carga 62 y luego se funde y se

transfiere a la cámara de calor 60, en el caso de algunos tipos de retal como bloques o lingotes, es mejor colocarlos directamente en la cámara principal de calor 60. Las puertas 58 se pueden abrir para transferir estos tipos de cargas a la cámara de calor 60.

[073] Las puertas 58 son de acero y construcción refractaria. Las puertas 58 se cuelgan en un sistema de polea mecánica (no mostrado) y se protegen mediante cadenas de seguridad para evitar que caigan al piso en caso de que falle el sistema de poleas. Para operar las puertas se usan cabrestantes eléctricos. Las puertas 58 se cuelgan de un miembro común de cruz que está sostenido del lado 54 del horno 14.

[074] El pozo principal de carga 22 está ubicado en el frente 64 del horno 14. El pozo 62 está separado de la cámara de calor 60 del horno y dividido en dos áreas: un área de carga 66 y un área de bomba de circulación 68. Una bomba de circulación 70 hace circular el metal del pozo caliente de metal fundido en la cámara principal 60 al área de carga de retal 62.

[075] Hay tres aberturas 72, 74 y 76, entre las cámaras 60, 66 y 68. La primera abertura 72 está en la división entre la cámara principal y el pozo de bombeo 68. La segunda abertura 74 está en la división entre el pozo de bombeo 68 y el área de carga de retal 68. La tercera abertura 76 está en la división entre el pozo de carga 66 y la cámara principal de calor 60.

[076] Todas las aberturas 72, 74 y 76 están aproximadamente 30,5 cm por debajo de la línea física o real de metal del horno 14. Las aperturas 72, 74 y 76 están debajo de la línea del metal para mantener el calor dentro de la cámara principal y evitar el flujo de óxidos entre las áreas divididas del horno 14 y para mantener el horno hermético al aire (es decir para mantener un medio ambiente controlado dentro del horno 14). La bomba 70 está ubicada en un área elevada para evitar que de-

ntro y alrededor de la bomba 70 se acumule excesivo desecho, rocas y retal.

[077] Una campana exhosto 78 está posicionada arriba de la cámara de carga 66. La campana está hecha en acero y está montada en vigas 46 similares a aquellas de las cuales están hechas las paredes laterales 54. Las vigas 46 están posicionadas en una placa que cubre la pared lateral del pozo, esencialmente tapándolo. La campana 78 ventila la cámara principal 60 del horno a través de cañón 80 (ver FIG. 4). El cañón 80 expulsa gases del horno 14 y puede cerrarse para mantener la presión en el horno 14.

[078] Los gases de escape salen del horno 14 y pasan a un filtro tipo bolsa 82 (FIG. 4). El filtro tipo bolsa 82 se usa principalmente para recoger el carbón no-quemado de pinturas, aceites, solventes, etc. inherentes al procesamiento de retal de aluminio.

[079] El horno 14 incluye cuatro quemadores 84 de oxígeno-combustible. Los quemadores 84 están instalados en una pared lateral 54 del horno 14 opuesta a las puertas 58. Se ha hecho una construcción de acero que circunda los quemadores 84 para permitir el montaje de los quemadores 84 y mantener rígida la pared circundante.

[080] El horno 14 está forrado con materiales refractarios. El piso 48 está hecho de dos materiales refractarios distintos. El primer material 86 es un concreto vertido, aproximadamente 15,24 cm de espesor, de alta resistencia, moldeable refractario, como por ejemplo AP Green KS-4, que forma una subchimenea. Un material 88 para piso se vierte arriba de la subchimenea 86 de modo monolítico con un espesor de aproximadamente 33 cm a 36 cm. El material 88 para piso es un material refractario AP Green 70AR. Es un material refractario moldeable constituido en un 70 por ciento de alúmina.

526
36
527

[081] Las paredes 54, 64 y 65 están hechas de dos capas de aislamiento 90 seguido por el material refractario 92 compactado plástico 70 AR moldeable o monolítico 85 por ciento alúmina adherido por fosfato (MONO P85). El contenido de alúmina del material es 85 por ciento. El aislamiento 90 de refuerzo es plancha aislante de aproximadamente 5,1 cm de espesor en las paredes laterales 54 del horno y de aproximadamente 7,6 cm de espesor en las paredes frontal y trasera 64 y 65 del horno. La diferencia de espesor del aislamiento 90 es para acomodar la expansión térmica del horno 14. Las paredes 54, 64 y 65 del horno crecerán aproximadamente 0,0104 cm por cm lineal. Así, el horno 14 crecerá (a lo largo de la longitud de 12,2 m) un total de aproximadamente 12,7 cm. Habiendo 15,24 cm de aislamiento 90 de refuerzo (tanto el del frente como el de atrás tienen 7,6 cm), el aislamiento 90 se aplastará y permitirá el crecimiento en las paredes 54, 64 y 65 del horno sin dañar el armazón d42 del horno.

[082] Entre la plancha aislante 90 aplastable y el material refractario 92 moldeado se ha colocado ladrillo aislante. El techo 56 está hecho en un 70 por ciento de material refractario moldeable de alúmina. El material se vierte en seis secciones de techo. Cada marco de puerta 58 está hecho en un 70 por ciento de material refractario AR de alúmina.

[083] El horno 14 tiene dos conjuntos de bloques vacíos (no mostrados). El primer conjunto está posicionado en el piso 52 del horno y sirve como bloques de drenaje. Un segundo conjunto de bloques está posicionado a 41 cm del piso del horno y sirve como conjunto de bloques de transferencia. Los bloques de transferencia están colocados en el exterior del horno para facilitar el reemplazo. Se forma el interior del horno y los bloques son dispuestos en el exterior y asentados con un adhesivo plástico.

[084] Hay dos rampas (no mostradas) en el horno, una en cada puerta principal de carga 58. Las rampas se usan para "desnatar" la escoria D del metal fundido y para permitir que el retal de aluminio se deslice hacia dentro del horno. Las rampas se componen de dos materiales. La base es un ladrillo resistente de aluminio de bajo grado, apilado para formar una rampa. El ladrillo se cubre con un material refractario moldeable (aproximadamente 45,7 cm de espesor), como por ejemplo el material 70AR. La rampa se extiende desde el borde del umbral hacia dentro del horno.

[085] La pared 96 que separa la cámara principal 60 del horno y el pozo de carga 62 tiene aproximadamente 56 cm de espesor y está hecha en material 70AR. La pared 96 está moldeada como una estructura monolítica individual.

[086] El horno 14 puede operar en varios modos desde vacío hasta conteniendo y manteniendo aluminio fundido. Cuando el horno 14 se encuentra en funcionamiento pico está lleno aproximadamente en un 80 a 90 por ciento. El metal fundido está aproximadamente a 760°C y la temperatura del aire en el horno es de aproximadamente 982°C. La temperatura de escape es aproximadamente 538°C. La temperatura del aire es medida por un termopar 98 en el lado superior de la pared 54 del horno 14. La temperatura del metal se mide en la base de la comba de circulación 70.

[087] El retal se carga en el horno por el pozo de carga 62 en incrementos de aproximadamente 1360,77 kg. Se entiende que el tamaño o peso del retal introducido varía dependiendo del tamaño y de la capacidad del horno 14.

[088] Desde la cámara principal 60 se bombea mediante la bomba de circulación metal fundido sobre la carga de metal frío. El metal fundido transfiere calor mediante conductividad a la carga de metal frío. La carga de metal se calienta rápidamente y se funde.

[089] El modo principal de transferencia de calor al aluminio recién cargado es por conductividad. La gran pileta de calor proporcionada por el horno lleno mejora este eficaz método de transferencia de calor. Cuando el horno está lleno en un 80 a 90 por ciento de su capacidad hay aproximadamente 99790 kg de aluminio fundido a una temperatura aproximadamente 760°C. Cuando se carga el retal en el horno 14, el baño actúa como pileta de calor y proporciona la energía necesaria para la transferencia de calor al metal recién cargado. Esto es cierto sin importar las dimensiones y la capacidad del horno, el cual aquí está adaptado al presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. La bomba de circulación 70 ayuda en la fusión del metal proporcionando metal fundido caliente al pozo de carga 62 desde la cámara principal 60 del horno. Además, mediante la circulación del metal fundido se mantiene baja la estratificación de calor por todo el horno 14.

[090] Se ha encontrado que mediante el bombeo o la circulación del metal fundido, la diferencia de temperatura entre la parte superior y el piso del horno (una diferencia de altura de aproximadamente 107 cm) es únicamente de unos cuantos grados centígrados. Así, el horno 14 actúa como una pileta de calor estable para proporcionar una fuente de calor consistente para la conducción de transferencia de calor al metal recién cargado.

[091] EL calor es aportado al horno 14 por los quemadores 84. Se cree que el principal modo de transferencia de calor al horno 14 es radiación, con alguna transferencia convectiva de calor. Debido a las altas temperaturas de llama, el sistema de combustión de oxígeno y combustible proporciona eficiente transferencia radiativa de calor. Además la geometría del horno 14 está diseñada para aumentar la cantidad de transferencia de calor maximizando el área de la superficie del metal sobre la cual ocurre la transferencia de calor de la llama al metal.

[092] Además, los materiales refractarios por encima de la línea del metal están hechos de un material con alto contenido de alúmina. Estos material reflejan el calor de los quemadores nuevamente hacia el metal fundido. Esto está en contraste con los diseños de hornos convencionales que más que reflejar el calor nuevamente hacia el pozo de metal fundido permiten que mucho del calor se escape del horno.

[093] Por ejemplo los hornos tradicionales usan materiales refractarios que tienen un bajo contenido de alúmina y alto valor de aislamiento en las paredes laterales superiores. El presente diseño, al contrario, usa materiales refractarios de alto contenido de alúmina para que se refleje más el calor radiativo de los quemadores 84 hacia el área del baño 60. Esto es contrario al diseño de hornos convencionales. En los hornos tradicionales las paredes laterales inferiores (definidas como estando por debajo de la línea del metal) usan para resistencia materiales refractarios de alto contenido de alúmina. En contraste, el presente diseño usa un material refractario moldeable de bajo contenido de alúmina, el cual es más avanzado y tiene un mayor valor aislante. En cierto sentido el presente diseño es completamente opuesto a la aplicación tradicional de materiales refractarios.

[094] Además, debido a que no se alimenta nitrógeno al horno 14 (a no ser el contenido por el combustible), el volumen de gases calientes (por ejemplo de escape) que pasan por el horno 14 es muy bajo. Ventajosamente, esto aumenta el tiempo de residencia de los gases en el horno 14 proporcionando oportunidad adicional para la transferencia de calor al metal fundido. La transferencia de calor convectiva, a pesar de ser relativamente baja, es más eficiente que en los hornos convencionales. Como los gases calientes en el presente horno 14 se aproximan a los 2760°C y tienen un tiempo de residencia relativamente largo, gran parte del calor ha sido removido antes del escape.

[095] Un presente horno 14 opera con una entrada de energía requerida para fundir de aproximadamente 2,52 J por kg. La entrada máxima de calor al horno 14 es aproximadamente $7,7 \times 10^6$ watts, y la entrada típica de calor es aproximadamente $1,93 \times 10^6$ watts a $2,32 \times 10^6$ watts. La entrada de calor dependerá obviamente del retal que está siendo fundido y de los requerimientos de producción. El horno es capaz de fundir hasta 18144 kg por hora.

El Sistema de Combustión

[096] El sistema de combustión, indicado en la FIG. 3, generalmente como 100, es un tren de combustión dual que funciona con una fuente de combustible (por ejemplo gas natural, fuel-oil, petróleo de desecho, carbón pulverizado o licuado) y una fuente de oxígeno. El sistema está diseñado como dos sistemas de combustión completos para facilitar el mantenimiento y conservar la energía durante los períodos de poco uso. En la FIG. 3. Se muestran un tren de oxígeno 102 y un ejemplo de tren de combustible de gas natural 104.

[097] El sistema de combustión 100 es controlado por un sistema de control (ilustrado en la FIG. 11 e indicado generalmente como 120) que incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 106 que monitorea todos los datos de entrada de temperatura del metal, temperatura del aire, flujo de combustible y de oxígeno, y proporciona un interfaz operatorio. Cada tren de combustión puede ser operado individualmente o en conjunto sobre la base de las condiciones y los requerimientos de funcionamiento.

[098] La principal variable de entrada del proceso usada para controlar el sistema de combustión 100 es la temperatura del baño de metal, que es medida por el termopar 108. Entre las variables alternativas de entrada del proceso están las señales de uno de varios sensores de la temperatura del aire 98 y 110. El esquema de control incluye entradas de termopares

(tipo K) ubicados en la pared superior del horno, en el cañón de escape y en el techo del horno, indicadas generalmente con entradas 112. El termopar primario 108 está ubicado en el baño de metal fundido 60. Los termopares 112 para el aire están forrados con alúmina o material similar para proteger de la atmósfera al elemento medidor. El termopar 108 del baño está protegido del metal fundido mediante un forro cerámico que es resistente al calor y a las condiciones corrosivas encontradas en el metal fundido. El termopar 108 del baño está configurado para anunciar la iniciación del sistema quemador únicamente cuando la temperatura del baño de metal cae por debajo de un nivel pre-establecido.

[099] El termopar del escape o el termopar del techo 116 está diseñado para protección contra la sobre-temperatura. Este termopar 116 está conectado a un circuito de sobre-temperatura que apaga los trenes de combustión 102 y 104 para proteger la estructura del material refractario y el horno 14 en el caso de que se alcance un límite de sobre-temperatura.

[100] El termopar 98 de la pared superior se usa primariamente para monitorear la temperatura del aire del horno 14. También se puede usar para operar el horno 14 en ausencia del termopar 108 del baño fundido. El termopar 112 de la pared superior también se usa como una variable de entrada al proceso cuando el metal está siendo cargado por primera vez en el horno 14 o cuando el nivel del metal fundido cae por debajo del termopar 108 del metal fundido.

[101] Un operador tiene completo control sobre todos los puntos de establecimiento de temperatura individual. Un panel de control 118 incluye indicadores de temperatura para todos los termopares 98, 108, 110, 112, 114, 116. El operador puede ajustar cada uno de los puntos de establecimiento de termopar hasta que se alcancen los límites de funcionamiento. Los límites de los puntos de establecimiento operacionales pueden ser

establecidos internamente con la CPU de tal modo que se puede establecer cualquier margen deseado de temperatura.

[012] El sistema de control 120 del sistema de combustión está configurado en dos partes. La primera parte 122 incluye dispositivos de seguridad permanentes tales como relés, interruptores límite, etc. que serán identificados por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Entre estos dispositivos de seguridad están incluidos todos los interruptores de presión de gas, las válvulas de desconexión y bloqueo y los detectores de llama. La segunda parte 124 del sistema de control 120 son las funciones de monitoreo y control automático efectuadas por la CPU 106.

[103] Los trenes de gas 104 están configurados en pares de tal modo que un tren puede estar en servicio mientras que el otro está fuera de servicio, por ejemplo para mantenimiento o durante periodos de bajo uso o poca carga. Cada tren de gas 104 está dimensionado apropiadamente con respecto a los requerimientos de flujo de oxígeno. Cada tren de gas 104 comienza en un válvula de desconexión tipo balón 130. El conducto 32 enruta el gas a través de un filtro 134 para eliminar cualquier desecho presente en el tubo. Una línea piloto de gas 136 se extiende desde el conducto 132 después del filtro 134.

[104] Un regulador de contrapresión 138 se usa para disminuir la presión de cabecera. Ahora la presión de oxígeno está establecida en aproximadamente 124×10^3 Newton por metro cuadrado (N/m^2). Una válvula de desconexión 140 y varias válvulas de seguridad 142 siguen en línea. Un flujómetro 144 de presión diferencial está ubicado más debajo de las válvulas de seguridad 142. El flujómetro 144 mide la temperatura y la presión diferencial del gas a medida que este fluye a través de un orificio 146. El presente flujómetro 144 es un flujómetro de presión diferencia Rosemount modelo 3095.

[105] Mediante estas medidas se determina una cantidad de flujo y una señal es transmitida al sistema de control 120. Una válvula de control 148 está en línea siguiendo el flujómetro 144. En un presente arreglo, se usa una válvula moduladora de control que recibe una señal de salida del sistema de control 120. La válvula 148 transmite una señal al sistema de control 120 y específicamente a la CPU 106 indicando la actual posición de la válvula 148.

[106] El tren de gas 104 se parte entonces en dos conductos separados 104a y 104b, cada uno de los cuales tiene una válvula 150a y 150b respectivamente. Las válvulas 150a y 150b se usan para balancear cada quemador 84 de tal modo que el flujo de gas se distribuya uniformemente.

[107] El tren de oxígeno 102 es similar al tren de gas 104, excepto que los tamaños de conducto y los componentes son más grandes para acomodar una cantidad mayor de flujo de oxígeno. En la FIG. 3 se ilustra un ejemplo de tren de oxígeno 102, en el cual los componentes que corresponden a los componentes del tren de combustible 104 están indicados mediante identificadores numéricos de la serie 200.

[108] Haciendo referencia a la FIG. 10, los quemadores 84 son de un diseño bastante sencillo. Cada uno de los cuatro quemadores 84 incluye un cuerpo principal de boquilla de entrada 152 que se extiende hasta dentro del horno 14. Una entrada de gas combustible 154 se extiende hasta el cuerpo de entrada principal 152 externo a la pared 54 del horno. Se alimenta oxígeno al cuerpo principal de boquilla de entrada 152 y este oxígeno se mezcla con el gas combustible. Un elemento encendedor (no mostrado) se extiende a través de una abertura central 156 en el cuerpo de entrada principal 152. El elemento encendedor proporciona una chispa para la ignición de la mezcla combustible/oxígeno.

S34
44
535

[109] La operación del sistema de combustión 100 se efectúa fácilmente mediante una combinación de acción operadora de inicio y control automático por la CPU 106. A los sistemas de control se les proporciona energía que posibilita la función de la CPU 106 y de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122 del sistema de control 120. La CPU 106 inicia comunicación con las válvulas de control, los termopares y los relés que forman parte de la porción de dispositivos de seguridad permanentes 122. Los interruptores de presión de gas y oxígeno son de diseño doble alto/bajo. El interruptor de presión baja es normalmente una señal cerrada, mientras que el lado de alta presión es una señal normalmente abierta. La CPU 106 determina si está presente la señal apropiada y permite que el programa continúe. Si se identifica una señal inapropiada entonces se ponen en acción alarmas audibles y visuales. El esquema de control también monitorea su las válvulas de control de gas y oxígeno 148 y 248 están en la posición de "fuego bajo". Si las válvulas de control 148 y 248 están en la posición apropiada entonces se transmite una señal que permite que el sistema de control 120 continúe el procedimiento de arranque. La señal de sobre-temperatura también debe estar ausente para que el sistema 120 siga adelante con el procedimiento de arranque.

[110] Cuando se cumplen todas las condiciones de arranque, se inicia un ciclo de purga de nitrógeno. El nitrógeno se usa para purgar el horno 14 de todos los gases combustibles que hayan permanecido en el horno 14. A la purga de nitrógeno se le asigna un tiempo de tal modo que el volumen de nitrógeno por todo el horno 14 sea aproximadamente 2,5 veces el volumen del horno 14.

[111] Después de completada la purga, se arranca uno o los dos trenes de combustión. Un interruptor de control pone a funcionar ya sea un par de quemadores o todos los quemadores 84. Un controlador de llama abre los solenoides piloto. Nor-

malmente los solenoides piloto están cerrados, sin embargo al arrancar el funcionamiento los solenoides se abren y a través de un ensamblaje piloto fluye gas y oxígeno.

[112] En la punta del ensamblaje piloto los gases se mezclan y son encendidos por una chispa emitida controladamente por el controlador de llama. Al tener lugar la ignición un detector de llama 126 detecta la presencia o ausencia de llama y transmite una señal al sistema de control 120. Una vez que la llama ha sido detectada, el sistema de control 120 abre las principales válvulas de bloqueo tanto del gas como del oxígeno.

[113] Las principales válvulas de desconexión del combustible y del oxígeno 120 y 140 operan independientemente. Las válvulas de seguridad 142 y 242 están configuradas de tal modo que si la válvula de gas 140 no se abre, entonces las válvulas de seguridad 142 y 242 no se abren tampoco. Cuando la principal válvula de gas 140 se abre entonces se abren las válvulas de seguridad 142 y 242 del gas y del oxígeno. Con todas las principales válvulas de seguridad abiertas, un relé de control es energizado así como también una luz indicadora en el panel de control 118 para cada tren de gas. Un timer piloto permanece energizado durante un período predeterminado de tiempo, aproximadamente 30 segundos. Una vez transcurrido dicho período predeterminado de tiempo, se des-energiza el circuito piloto y se des-energizan las válvulas solenoides normalmente cerradas, aislando los ensamblajes piloto y la luz indicadora piloto para cada tren quemador.

[114] Los detectores de llama 126 monitorean permanentemente la llama. Al perderse la indicación de llama, una señal de alarma es transmitida a la CPU 106 y el circuito de control aísla las válvulas de desconexión del gas y del oxígeno 140 y 240 y las válvulas de bloqueo 142 y 242.

[115] Una vez que el piloto ha sido des-energizado, el sistema de control 120 asume la operación automática del horno.

336 46 237

Mientras que el sistema 120 está puesto en "fuego bajo", las válvulas de control del oxígeno 248 se mantienen en la posición cerrada sin importar los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. Las válvulas de control del gas 140 no son limitadas en su margen de operación ya que el flujo de gas sigue al flujo de oxígeno. El sistema de control 120 mantiene el gas en la proporción pre-establecida.

[116] Cuando la operación tiene lugar en el modo automático, el sistema de control 120 responde a las desviaciones de los valores del proceso y de los puntos de establecimiento operacionales. La temperatura del horno es monitoreada y ajustada correspondientemente al punto de establecimiento de temperatura. Cuando la temperatura del proceso se desvía de la temperatura del punto de establecimiento, entonces se genera una señal de error y el sistema de control 120 transmite una señal a la válvula de control del oxígeno 248. El sistema de control 120 también controla la válvula de control del gas 148; la variable del punto de establecimiento sigue la cantidad de flujo (correlacionada estequiométricamente) de oxígeno tal como la establece el flujómetro de oxígeno. El sistema de control está configurado para limitar las válvulas de control 148 y 248, las cuales a su vez limitan la energía de salida de los quemadores 84.

[117] El sistema de combustión 100 y específicamente el sistema de control 120 pueden estar configurados para satisfacer cualquier aplicación deseada para y en cualquier industria que dependa de combustibles basados en carbono. Por ejemplo, en la presente planta procesadora 10 de retal de aluminio, hay tres aplicaciones o usos del sistema de combustión de oxígeno y combustible 100. El primero es para fundir aluminio en un medio ambiente de alta producción (es decir en el horno de fusión 14). Segundo, el sistema 100 está presente en el horno de almacenamiento 16 primariamente para temperatura de estado permanente y mezcla de aleaciones del aluminio fundido. La úl-

537
47
538

tima aplicación es en un horno de fusión de escoria 166 en el que se usan quemadores de alta temperatura para liberar las unidades de metal (aluminio que puede recuperarse para la producción) de la escoria D (producto secundario fundido) mediante choque térmico. En cada uso, los quemadores están instalados por razones de conservación de energía y ambientales.

[118] Las aplicaciones del presente sistema de combustión 100 varían según la salida térmica (medida en máximos watts), el tamaño y la orientación de los quemadores 84, así como también la temperatura a la cual están diseñados para funcionar los hornos 14, 16 y 166. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que se requieren diferencias mecánicas (por ejemplo tamaños de los conductos, etc.) para acomodar estas diferentes necesidades, y que la programación específica del sistema de control 120 y de la CPU 106 puede variar.

[119] El presente sistema de combustión 100 proporciona varias ventajas respecto a los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Por ejemplo, se ha demostrado mediante el funcionamiento que hay ahorros considerables de energía usando el presente sistema de combustión 100. Los quemadores 84 de oxígeno-combustible operan a una temperatura mucho más elevada que los hornos convencionales. De este modo, se ha observado que hay un aumento del calor disponibles para la fusión (en otras aplicaciones industriales este aumento de calor se puede utilizar por ejemplo para generación de vapor, incineración de desechos, etc.). Esto proporciona una reducción en la cantidad de combustible requerido para operar los hornos 14, 16 y 166. En la práctica de la presente invención se ha observado que la entrada térmica promedio (y la calculada) requerida por libra de aluminio fundido ha disminuido de aproximadamente $8,4 \times 10^6$ J por kg (en un horno convencional) hasta aproximadamente 2,52 J por kg en el horno de fusión 14. Esta es una reducción de aproximadamente 70 por ciento. Ade-

S38
48
539

más, se ha demostrado que el combustible necesitado para mantener la temperatura en el horno de almacenamiento 16 es aproximadamente la mitad del necesitado en un horno convencional.

[120] Los ahorros de combustible se atribuyen a tres factores principales. Primero, el aumento de calor del sistema de combustión 100 permite quemar todo el combustible sin que haya exceso de oxígeno. Segundo, ateniéndonos a la teoría, se cree que el sistema de combustión 100 opera dentro de una zona de transferencia de calor radiativa (o radiante), con alguna transferencia de calor por conductividad.

[121] El sistema 100 está diseñado para aprovechar la transferencia de calor radiante dentro de los hornos 14, 16 y 166 para transferir calor eficientemente a los baños de metal. Tercero, debido a que no hay nitrógeno en el proceso de combustión, la cantidad de gas que fluye a través de los hornos 14, 16 y 166 es baja. Así, un aumento del tiempo de residencia de los gases calientes permite la liberación de una mayor proporción de energía (en forma de calor) antes del escape de los hornos 14, 16 y 166.

[122] El volumen típico de gas de escape es una fracción de aquel de los hornos convencionales. Habiendo aproximadamente 80 por ciento menos de gases (esencialmente el componente de nitrógeno del aire) en el horno de oxígeno-combustible, se aumenta grandemente la eficiencia de la combustión. En los hornos convencionales el componente de nitrógeno del aire absorbe gran parte de la energía (en forma de calor) de la masa fundida. En el presente sistema de combustión 100 se alimenta oxígeno (y no aire) y combustible a los hornos 14, 16 y 166 y se queman en una proporción estequiométrica. Esto se hace sin exceso de oxígeno. De este modo no hay energía absorbida por materiales no relacionados con la combustión (por ejemplo exceso de oxígeno o nitrógeno).

S39
49
S40

[123] El presente sistema de combustión 100 también proporciona aumento en la producción. Cuando se instala como parte de un horno de fusión, aumenta la capacidad de fusión o rendimiento. Esto también se atribuye a la rápida y eficiente transferencia de calor en el horno 14. Al introducir nuevo metal en el horno 14, el sistema de combustión 100 responde rápidamente para proporcionar calor para fundir el metal alimentado y mantener el calor (la temperatura) del metal fundido en el pozo 60 a la temperatura del punto de establecimiento. Se ha encontrado que el aluminio acepta calor muy eficientemente de una fuente de calor radiativa.

[124] Tal vez más importante es el reducido impacto medioambiental del presente sistema de combustión 100, en comparación con los sistemas de combustión conocidos y usados actualmente. Ventajosamente el presente sistema de combustión 100 no usa nitrógeno (del aire) en el proceso de combustión. Típicamente la producción de NOx ocurre en un horno como producto de reacción del aire calentado que es alimentado por el sistema de combustión. Sin embargo, como el presente sistema 100 usa oxígeno y no aire, el NOx producido por el presente sistema de combustión se debe exclusivamente a la cantidad de nitrógeno elemental que hay en el combustible (es decir nitrógeno contenido en el combustible). Como los niveles de nitrógeno contenido por el combustible son sumamente bajos (en comparación con la cantidad de nitrógeno aportada por el aire en los hornos convencionales), los niveles de NOx del presente sistema de combustión están bastante por debajo de cualquier estándar industrial y de cualquier limitación gubernamental. Además de reducir la producción de NOx también se reduce grandemente la producción de otros gases invernadero como por ejemplo monóxido de carbono.

[125] Además del reducido impacto ambiental, el presente sistema de combustión de oxígeno y combustible conserva energía porque considerablemente más aluminio puede ser procesado

con considerablemente menos entrada de combustible (cualquier combustible basado en carbono, incluyendo carbón, polvo de carbón, gas natural o petróleo). Como resultado del procesamiento con menos utilización de combustible se logra la conservación de las fuentes de combustible. Esencialmente se usa menos combustible en total y también por kilogramo para producir aluminio. Esto reduce los costos de procesamiento (por ejemplo los costos de combustible) así como también el agotador uso de combustibles fósiles.

Abastecimiento de Oxígeno

[126] Como se darán cuenta las personas con experiencia en este campo de la técnica, los requerimientos de oxígeno para el presente sistema de combustión 100 pueden ser bastante elevados. Para tal fin, aunque el oxígeno se puede comprar, entregar y almacenar para el uso en el sistema, es más deseable tener una instalación de producción de oxígeno cerca del sistema de combustión de oxígeno-combustible o que forme parte de dicho sistema, tal como la planta procesadora de retal de aluminio ejemplarizada.

[127] Haciendo ahora referencia a la FIG. 4, se muestra una planta criogénica 180 para uso con el presente sistema de combustión 100. La planta criogénica 180 ejemplarizada ilustrada produce 105 toneladas al día de oxígeno de mínimo 95 por ciento de pureza y 1700 metros cúbicos estándar por hora de nitrógeno que tiene menos de 0,1 parte por millón de oxígeno. La planta 180 incluye un compresor 182 de tres niveles y $1,38 \times 10^6$ Watts. El aire comprimido a $4,89 \times 10^5$ N/m² entra a un purificador/expansor 184. El aire sale del expansor 184 a una presión de $4,76$ N/m² y a una temperatura de -164°C , y entra a una columna de destilación criogénica 186. En la columna el aire es separado (destilado) en nitrógeno gaseoso, nitrógeno líquido, oxígeno gaseoso y oxígeno líquido. El oxígeno gaseoso, indicado generalmente como 188, es alimentado directamente

al sistema de combustión 100 y el oxígeno líquido, indicado generalmente como 190, se almacena por ejemplo en los tanques 191 para posterior uso en el sistema de combustión 100. La presión del oxígeno de la planta criogénica 180 puede ser menor que la requerida para el sistema de combustión 100. Como tal, un soplador de oxígeno 192 se posiciona entre la descarga de oxígeno de la columna 186 y la alimentación del sistema de combustión 100 para elevar la presión al nivel requerido para el sistema de combustión 100.

[128] El nitrógeno gaseoso, indicado generalmente como 194, es alimentado a un sistema de recocido/liberación de tensión situado corriente abajo (no mostrado) dentro de la planta 10. Estos sistemas, que usan nitrógeno para tratar aluminio para liberar la tensión en el metal y para recocer el metal, serán reconocidos por las personas con experiencia en este campo de la técnica. Además, el nitrógeno 194 se usa en las unidades desgasificadoras 24. La planta 10 también incluye un abastecimiento de respaldo de oxígeno y de nitrógeno, 191 y 196 respectivamente, en forma líquida por ejemplo para el caso de un mantenimiento u otras situaciones en las que la planta criogénica 180 no pueda abastecer los requerimientos de la planta. Los sistemas de respaldo 191 y 196 están configurados para abastecer automáticamente oxígeno y/o nitrógeno según se requiera, por ejemplo cuando la planta criogénica 180 no está en funcionamiento. El exceso de nitrógeno se puede almacenar, envasar y vender. Sistemas como este están disponibles comercialmente donde varios fabricantes, por ejemplo Praxair Inc. de Danbury, Connecticut.

Recuperación de Calor

[129] El sistema de procesamiento de aluminio 10 también aprovecha el calor de desecho de los distintos procesos. Específicamente, la planta 10 puede incluir un sistema de recuperación del calor de desecho, indicado generalmente como 200 en

la FIG. 4. El gas de escape 202 del horno de fusión 14 y del horno del almacenamiento temporal 16 es dirigido hacia un lado de un intercambiador de calor de desecho 204. Como el gas de escape 202 está a una temperatura de aproximadamente 538°C, hay una considerable cantidad de energía que puede ser recuperada. Además se puede recuperar energía del exhosto arriba del área de baño 60 del horno principal.

[130] El gas de escape 202 es dirigido hacia el intercambiador de calor de desecho 204. Un fluido de trabajo 206, por ejemplo pentano, fluye bajo presión a través del otro lado del intercambiador de calor 204. Hay que decir que un intercambiador de calor tipo placa o un intercambiador de calor tipo placa y tubo son los más apropiados para esta aplicación. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán los varios tipos de fluidos de trabajo que pueden usarse para el presente sistema de recuperación de calor de desecho, así como también los sistemas de intercambio de calor que son usados con estos tipos de fluidos de trabajo. Todos esos sistemas están dentro del alcance y el espíritu de la presente invención.

[131] El fluido 206 calentado es dirigido entonces a un vaporizador 208, donde se permite que el fluido 206 se expanda convirtiéndose en vapor. El vapor 206 es dirigido a un conjunta turbogenerador 210 para producir electricidad. Luego se condensa el vapor en un condensador 212 y se devuelve al intercambiador de calor 204. Hay que decir que del gas de escape 202 de la planta procesadora de retal descrita arriba se puede recuperar suficiente energía para producir aproximadamente 1,5 a 2,0 megawatts de energía en forma de electricidad.

[132] Aunque se puede emplear una amplia variedad de fluidos de trabajo 206 para uso en un sistema de recuperación de energía de desecho o de calor de desecho 200, en un sistema actualmente contemplado se usa pentano como el fluido de trabajo

S43
S44

206. Dicho sistema basado orgánicamente proporciona varias ventajas respecto, por ejemplo, a los sistemas basados en vapor. Hay que decir que el fluido de trabajo 206 basado en pentano en un arreglo de ciclo Rankine estándar permitirá variaciones en el abastecimiento de vapor más fácilmente que un sistema basado en vapor. Como la producción de calor de los hornos (de fusión 14 y de almacenamiento 16) depende de la producción de metal y no de las necesidades eléctricas, es probable que la entrada de energía al sistema de recuperación 200 varíe y sea la característica controladora para la producción de energía. Como tal, un fluido 206 tal como el pentano proporciona la mayor flexibilidad que se requiere para tal sistema de recuperación 200.

[133] Como lo reconocerán las personas con experiencia en este campo de la técnica, la energía eléctrica generada puede ser usada para proporcionar parte de la energía necesaria para la planta 10 de procesamiento de retal, incluyendo la planta criogénica 180. La energía para operar la planta 10 puede ser proporcionada por un sistema de combustión de oxígeno-combustible empleado en una planta generadora de energía (usando un horno o quemador) para generar vapor para un conjunto turbogenerador de vapor. En tal arreglo, cuando la energía generada excede los requerimientos de la planta 10, el exceso de energía puede ser vendido por ejemplo a una instalación eléctrica local.

Procesamiento de Escoria

[134] Haciendo referencia ahora a la FIG. 2, los contaminantes o escoria D del horno de fusión 14 se procesa ulteriormente, de forma separada y aparte de la recuperación en línea del aluminio, en un proceso de recuperación de escoria indicado generalmente como 164. La escoria D se elimina, por ejemplo mediante "desnatado", de la parte superior del pozo de aluminio fundido 60 en el horno de fusión 14. La escoria D se pren-

sa por medios mecánicos en una tasa tipo tamiz 168. La acción de prensado empuja el aluminio A de la escoria D a través de las aberturas 170 de la tasa 168. El aluminio A prensado de la escoria D se recupera y se devuelve al horno de fusión 14.

[135] La escoria cargada de óxido se alimenta al horno de recuperación 166 para recalentamiento. El horno de recuperación 166 es de un diseño similar al del horno de fusión 14 en cuanto usa un diseño de sistema de combustión de oxígeno-combustible 100. En la operación, sin embargo, el horno de recuperación 166 "somete a choque" al material cargado de escoria usando incidencia de llama directa cercana de aproximadamente 2760°C para liberar el metal de aluminio de la escoria D. La temperatura del baño fundido 172 en el horno de recuperación 166 es también considerablemente mayor, aproximadamente 788°C-816°C, con una temperatura del aire del horno de aproximadamente 1093°C-1204°C. Además el proceso de "choque" se efectúa en una atmósfera altamente reducida substancialmente sin exceso alguno de oxígeno dentro del horno 166 (en contraste con los hornos convencionales que operan con niveles de exceso de oxígeno de aproximadamente 3 a 5 por ciento).

[136] El horno de recuperación 166 también es "desnatado" y la escoria resultante se prensa. El aluminio recuperado A es transferido al horno de fusión 14. La escoria restante D2 se envía luego para procesamiento fuera del horno de recuperación a un procesador de escoria para adicional recuperación de aluminio. Se ha encontrado que el presente proceso, incluyendo el proceso de recuperación de escoria, proporciona un aumento significativo en la recuperación del metal. La escoria D2 que se envía en último término para procesamiento adicional es únicamente una fracción de la cantidad original de escoria D, con lo cual se reducen los costos del procesamiento y se aumenta la recuperación de aluminio.

[137] Es importante el hecho de que el presente proceso de recuperación de escoria 164 se efectúa sin uso de sales o de cualesquiera otros aditivos. Más bien, se usa el choque térmico para liberar el metal de los óxidos. Los procedimientos de recuperación conocidos usan sales para separar los óxidos del metal. Como la sal permanece en los óxidos, los cuales a su vez se desechan, entonces las sales también son en último término desechos. Estas sales pueden ser peligrosas y/o tóxicas para el medio-ambiente. Como tal, el presente proceso 164 es ambientalmente benéfico ya que elimina la necesidad de estas sales y por lo tanto su desechamiento.

[138] Respecto al esquema de procesamiento 164 total, también se ha encontrado que los presentes pasos de recuperación (por ejemplo el doble prensado con recalentamiento intermedio) resulta en cantidades de recuperación de aluminio significativamente mejoradas con respecto a las de los procesos conocidos, dependiendo del grado del retal. Se han logrado aumento multi-porcentuales en la cantidad de metal recuperada de la escoria D.

Otras Aplicaciones para el Sistema de Combustión

[139] Como se mencionó arriba, es evidente que se pueden lograr aumentos en la eficiencia usando oxígeno en todos los procesos continuos. Por ejemplo las plantas generadoras de energía pueden aumentar la temperatura de llama o reducir la pérdida de ignición (LOI) en los quemadores mediante la introducción de oxígeno a la fórmula de combustión (y no aire). Esto puede aumentar las eficiencias en la operación. Esencialmente la combustión de cualesquiera combustibles basados en carbono puede ser mejorada mediante la introducción de oxígeno. Los beneficios son tanto económicos como medio-ambientales. Hasta el presente ninguna otra industria distinta a la de fabricación de vidrio ha adoptado la tecnología del oxígeno-combustible. En la industria de fabricación de vidrio

S46
56
S47

esta tecnología se usa no por la eficiencia que resulta, sino por la elevada temperatura de fusión requerida para el proceso de producción del vidrio.

[140] Sin embargo, el uso de sistemas de combustión de oxígeno-combustible en todas las aplicaciones industriales y generadoras de energía puede proporcionar una reducción en el consumo de combustible con una equivalente producción de energía o generación de calor. La reducción del consumo de combustible junto con el uso eficiente del combustible (es decir la combustión eficiente) proporciona emisiones de NOx grandemente reducidas o substancialmente nulas y reducciones significativas en la emisión de otros gases invernadero.

[141] Debido a la variedad de combustibles industriales que pueden ser usados, por ejemplo carbón, gas natural, distintos petróleos (de calefacción y de desecho), madera y otros desechos reciclados, junto con los distintos métodos, actuales y propuestos, para generar oxígeno, las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán el enorme potencial respecto a la aplicabilidad industrial del presente sistema de combustión. La selección del combustible se puede hacer sobre la base de la disponibilidad, de los factores económicos y de las preocupaciones medio-ambientales. De esta forma, no se especifica ningún combustible determinado sino más bien mieles de ellos y de hecho todos los combustibles basados en carbono son compatibles con el presente sistema. Además existen muchas tecnologías aceptables para producir oxígeno de altos niveles de pureza. Entre tales tecnologías están la criogénica, los sistemas de membrana, las unidades de absorción, la hidrólisis, etc. Todos estos usos de combustible y abastecimientos de oxígeno están dentro del alcance de la presente invención. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán que los otros gases producidos, por ejemplo hidrógeno y nitrógeno, se pueden almacenar, envasar y vender.

[142] Como se mencionó en detalle arriba, una aplicación para el presente sistema de combustión es el procesamiento y la recuperación de retal de aluminio. Entre las otras aplicaciones que se mencionan más abajo están los quemadores y los incineradores para generación de energía industrial. Estas aplicaciones se centran en la flexibilidad y la aplicabilidad de esta tecnología para amplios usos industriales.

[143] En general el uso de combustión activada por oxígeno y combustible brinda significativas ventajas en muchas áreas en comparación con los actuales o tradicionales sistemas de combustible y aire. En primer lugar está la capacidad de funcionar a niveles estequiométricos precisos sin el impedimento del nitrógeno en el sistema de combustión. Esto permite mayor eficiencia en el uso de combustible y reduce grandemente los niveles de NOx en la aplicación del sistema. Se requiere significativamente menos combustible para lograr los mismos niveles de producción de energía, lo cual a su vez reduce los costos totales de funcionamiento. Al usar menos combustible para obtener la misma producción de energía se logra una reducción natural de las emisiones. El ahorro de combustible y la reducción de las emisiones son tan solo dos de los beneficios proporcionados por el presente sistema.

[144] Los generadores de vapor para la producción de electricidad, por ejemplo mediante calderas de energía industriales, son variados pero sin embargo dependen fundamentalmente de sus sistemas de combustión para producir vapor para hacer rotar un conjunto turbogenerador. Los combustibles usados varían con base en el diseño de los generadores de vapor. No obstante, todas las calderas requieren un agente oxidante. Al emplear el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible se usa oxígeno de alta pureza como el único agente oxidante en toda la caldera o se usa como un complemento al aire que proporciona oxígeno para la combustión.

[145] Los beneficios que son disfrutados por otras aplicaciones industriales son también válidos para la industria generadora de energía. Por ejemplo, el uso de oxígeno dentro de la zona de combustión aumenta la temperatura de llama y al mismo tiempo corta la pérdida de ignición (LOI) proporcionando oxígeno inmediatamente disponible para la combustión. Al aumentar las temperaturas de llama se pueden alcanzar mayores cantidades de generación de vapor con la misma cantidad de consumo de combustible. Dicho a la inversa, con cantidades menores de consumo de combustible se obtiene la misma generación o producción de energía. La temperatura de llama dependerá de la concentración del oxígeno proporcionado para la combustión. Para tal fin, sin complemento o enriquecimiento alguno de oxígeno (es decir aire puro para la combustión) las temperaturas de llama será aproximadamente 1649°C. Haciendo referencia a lo dicho arriba, con oxígeno puro como agente oxidante la temperatura de llama será aproximadamente de 2482°C a aproximadamente 2760°C. Las temperaturas de llama para distintos grados de complementación de oxígeno pueden ser interpoladas (se cree que linealmente) entre estas temperaturas.

[146] El oxígeno también puede usarse juntamente con sistemas de aire sobre-alimentado o con quemadores de poco NOx para reducir el N Ox y otros gases invernadero garantizando al mismo tiempo una llama estable estequiométricamente. Los típicos quemadores de poco NOx aumentan a menudo la pérdida de ignición. Esto exige que los operadores quemen más combustible. Mediante la adición de oxígeno enriquecido al proceso de combustión el combustible se quema completamente de forma estequiométrica sin que haya presente nitrógeno adicional (por entrada adicional de aire) que produzca NOx.

[147] Hay que decir que las calderas serán diseñadas alrededor de sistemas de combustión de oxígeno-combustible para aprovechar totalmente los beneficios de estos sistemas. También hay que decir que las mejoras o modificaciones al equipo

existente también proporcionarán varios de estos beneficios tanto al operador (por ejemplo la instalación) y al medio-ambiente.

[148] Por ejemplo la FIG. 12 ilustra esquemáticamente una caldera u horno 300 activado por carbón. En la pared 304 del horno 300 está formada una caja de viento 302. Un quemador 306, a través del cual se introduce el carbón al horno 300, se extiende a través de la caja de viento 302. El carbón es llevado al horno 300 por un conducto de carbón 308. Se abastece aire primario (indicado como 310) para transportar el carbón (desde un pulverizador no mostrado) a través del conducto 308 y del quemador 306 al horno 300. Se abastece aire terciario (indicado como 312) al conducto de carbón 308 para garantizar que el carbón se transportado al quemador 305.

[149] Se abastece aire secundario (indicado como 314) desde la caja de viento 302 directamente al horno 300 a través de los registros 316 en la pared 304 del horno. El aire secundario 314 es la fuente primaria de aire para el proceso de combustión. En un sistema bien identificado y conocido para controlar el NOx, un sistema de aire sobre-alimentado (indicado como 318) inyecta aire (desde la caja de viento 302) al horno 300 sobre la llama F. El propósito subyacente del aire sobre-alimentado es doble. Primero, proporcionar suficiente oxígeno para garantizar la completa combustión del combustible. Segundo, reducir la temperatura de llama y así reducir la producción de NOx.

[150] También se ha contemplado el uso del presente sistema de combustión en relación con los incineradores de desechos industriales. Los incineradores típicos de desechos operan sobre la base de tiempo resonante, temperatura y exceso de oxígeno. Un sistema de oxígeno-combustible permitirá mayor eficiencia en la operación.

[152] El tiempo resonante depende del tamaño físico de la cámara calentada y de la velocidad y del volumen de los gases que pasan a través de la cámara. A medida que se saca nitrógeno de la cámara, naturalmente el tiempo resonante aumenta porque el volumen de gas usado en el proceso de combustión es menor (en aproximadamente 80 por ciento). Cuando un incinerador está específicamente diseñado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible entonces el incinerador requiere considerablemente menos costos de capital debido al tamaño reducido que se requiere.

[153] Las temperaturas de llama típicas de los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son mucho más altas que las de los sistemas de aire y combustible. Así, la eficiencia de la combustión requiere menor entrada térmica del combustible, lo cual resulta en menores costos operativos. Uno de los beneficios del sistema de combustión de oxígeno-combustible es el control logrado sobre los niveles excesivos de oxígeno. En el caso de los incineradores convencionales se requiere exceso de oxígeno para quemar los carbonos orgánicos volátiles (VOCs) y el carbono no quemado. Este exceso de oxígeno se abastece inyectando aire a la cámara donde el oxígeno (del aire) se usa para completar el quemado de los carbonos orgánicos volátiles y del carbono no quemado. Aunque el aire proporciona el necesario exceso de carbono, él también permite la entrada de nitrógeno a la cámara. El exceso de nitrógeno que se introduce (para proporcionar el exceso de oxígeno) resulta en un aumento en la producción de NOx. Además, el exceso de aire globalmente resulta en la generación de otros gases invernadero y además actúa enfriando la cámara. Este indeseable enfriamiento requiere entonces calor adicional del sistema de combustión para superar este efecto enfriador.

[154] La FIG. 13 ilustra esquemáticamente un horno industrial 400 típico. Se introducen desechos (indicados como 402) en la cámara 404. Un quemador 406 es alimentado con aire (in-

dicado como 408) y combustible (indicado como 410) para producir una llama F para incinerar los desechos 402. Un monitor 412 de monóxido de carbono (CO) se encuentra ubicado arriba de la llama F para determinar el nivel de CO en el gas de escape. Cuando el nivel de CO es demasiado alto entonces se alimenta aire adicional al quemador 406. Opcionalmente se puede alimentar aire a la cámara desde una ubicación 414 separada del quemador 406 para proporcionar el aire adicional.

[155] Este método de operación tiene numerosos inconvenientes. Como se mencionó arriba, los dos factores controladores en la incineración de desechos son tiempo y temperatura. Es decir, temperaturas más altas y mayores tiempos resonantes aumentan la incineración de los desechos. Sin embargo, la adición de aire (para reducir los niveles de CO) aumenta la cantidad de flujo a través de la cámara 404 y reduce así el tiempo resonante. Además, aunque el aumento de flujo de aire reduce las temperaturas de llama (lo cual a su vez reduce la producción de NOx), él también introduce altos niveles de nitrógeno, lo cual tiende a aumentar la producción de NOx y a compensar el efecto de enfriamiento (y de reducción en la producción de NOx). Además, debido al efecto enfriador que tiene el aire, se reduce la eficiencia del proceso de incineración.

[156] El presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, por otra parte, usa oxígeno de alta pureza, lo cual permite quemar el material no quemado sin que haya producción de NOx y de otros gases invernadero y sin que haya efectos enfriadores. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible brinda varias ventajas respecto a los sistemas incineradores convencionales o tradicionales. Como el deber primario de un incinerador es quemar carbonos orgánicos volátiles (VCOs) y otros contaminantes antes de que ellos lleguen a la atmósfera, el presente sistema de combustión reduce el combustible usado y resulta así en una producción reducida

de NOx y de otros gases invernadero y generalmente también en un volumen reducido de gases de chimenea.

[157] Además, los costos de instalación (por ejemplo el capital) y de funcionamiento de los incineradores que emplean sistemas de combustión de oxígeno-combustible se reducirá grandemente. El costo en capital del incinerador se reducirá porque se espera que sea mucho menor el volumen de gases a través del sistema. Como se dijo arriba, debido a que la producción de gas es mucho menor entonces el tamaño total del incinerador puede ser considerablemente menor que en los sistemas convencionales manteniéndose simultáneamente el mismo tiempo resonante. De este modo, el incinerador puede ser físicamente más pequeño para manejar la misma carga de desechos, y los sistemas de apoyo y el equipo auxiliar requeridos pueden ser igualmente más pequeños.

[158] Además, los sistemas de combustión de oxígeno-combustible son por lo general considerablemente más eficientes que los sistemas incineradores convencionales y requieren solo una fracción de la cantidad de entrada de energía requerida. El sistema también se presta bastante bien para aplicaciones de incinerador en las que el combustible es carbono no quemado o VOCs. Igualmente, como no hay nitrógeno presente en el conjunto de llama entonces el desarrollo de NOx se mantiene en un mínimo, relegado únicamente al NOx formado por el nitrógeno contenido en el combustible.

[159] Las industrias descritas arriba son solo unos cuantos ejemplos de industrias que se pueden beneficiar del uso del presente sistema de combustión de oxígeno-combustible. Las personas con experiencia en este campo de la técnica reconocerán la aplicabilidad de este sistema en las industrias química y petroquímica, en la industria generadora de energía, en las industrias de plásticos, en la industria del transporte, etc.

La Combustión de Oxígeno-Combustible - Beneficios y Ventajas

[160] La personas con experiencia en este campo de la técnica identificarán los beneficios y las ventajas del sistema de combustión de oxígeno-combustible. Sin embargo, en un ejemplo de instalación procesadora de retal de aluminio, usando un horno encendido por aire adaptado para gas natural, se encontró que la energía requerida para procesar o fundir una libra de retal de aluminio (determinada por los metros cúbicos de gas natural usados) era $8,42 \times 10^6$ Joules (presentados como $8,42 \times 10^6$ Joules/kg). Es decir que para fundir cada kilogramo de aluminio se necesitaron aproximadamente 0,098 metros cúbicos estándar de gas natural. El requerimiento de $8,42 \times 10^6$ Joules se basa en cada metro cúbico estándar de gas natural que tiene un contenido calorífico de $1,107 \times 10^6$ Joules.

[161] En contraste, usando el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible, se encontró que únicamente se necesita 0,029 m³ estándar de gas natural (ó $2,52 \times 10^6$ J) para fundir cada kilogramo de aluminio. Así, el presente sistema de combustión de oxígeno combustible usó $2,52 \times 10^6$ J / $8,42 \times 10^6$ J ó 29,9 por ciento del combustible requerido por un horno encendido por aire. Esta es una reducción de 1.0 menos 0,299 o sea aproximadamente 70 por ciento en el consumo de combustible.

[162] Reducciones similares aunque no tan drásticas del consumo de energía se han observado con un sistema de combustión de oxígeno-combustible que usa petróleo de desecho como combustible. Se encontró que el contenido de calor del combustible de petróleo de desecho necesitado para fundir cada libra de aluminio fue de $2,83 \times 10^6$ J. Así, la reducción observada con petróleo de desecho fue $2,83/8,42$ o sea 33,6 por ciento, resultando en una reducción de aproximadamente 66 por ciento en el combustible consumido. Como tal, incluso antes de considerar la reducción de los contaminantes producidos, el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible mostró reducciones en el consumo de combustible de aproximadamente 70 por ciento y 66 por ciento usando gas natural y petróleo de dese-

cho respectivamente en comparación con un horno encendido por aire y por gas natural.

[163] La Tabla 1 que aparece abajo ilustra una comparación de los contaminantes producidos usando un sistema de combustión alimentado por aire y gas, un sistema de combustión alimentado por oxígeno y gas, y un sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho. Los contaminantes mostrados son monóxido de carbono (CO), compuestos gaseosos de nitrógeno NO_x, materia particulada con un tamaño menor de 10 micrones (PM₁₀), materia particulada total (PT), compuestos gaseosos que contienen azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles de carbono (VOC).

[164] Los datos se muestran en dos formas, a saber: toneladas producidas por año (TPY) y libras producidas por millón de BTUs usados (lbs/MMBTU). Los paréntesis que siguen los datos de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO representan las reducciones de contaminante respecto a las del sistema de combustión alimentado por aire y gas.

TABLA 1 - ANALISIS DE GASES DE CHIMENEA PARA SISTEMAS DE COMBUSTION DE AIRE-GAS, OXIGENO-GAS Y OXIGENO-PETROLEO

Contaminante	AIRE-GAS		OXIGENO-GAS		OXIGENO-PETROLEO	
	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU	TPY	lb/MMBTU
CO	4,88	2,0E-2	1,51	6,0E-3 (68,9)	1,32	5,0E-3 (73,0)
NO _x	24,38	1,0E-1	0	0 (100,00)	10,04	0,041 (58,8)
PM ₁₀	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,146	6,0E-4 (-410)
PT	0,028	1,0E-4	0,0023	9,4E-6 (92)	0,169	6,9E-4 (-490)
SO _x	0,146	6,0E-4	4,5E-2	1,9E-4 (69)	1,39	5,7E-3 (-848)
VOC	0,582	2,4E-3	4,0E-1	1,6E-3 (31)	3,33	1,4E-2 (-471)

[165] Los valores para PM10, PT, S Ox y VOC para el sistema de combustión alimentado por oxígeno y petróleo de desecho muestran aumentos (así como reducciones negativas). Esto se debe en parte a que en el ejemplo de sistema de combustión no se usan procesos de tratamiento "pos-combustión". Hay que decir que apropiados procesos "pos-combustión" incluirían filtros de bolsa (para la materia particulada) y lavadores (para los gases que contienen azufre) y resultarían en reducciones de al menos aproximadamente 98,99 a 95 por ciento, respectivamente, en las cantidades de las emisiones. Los valores obtenidos en la TABLA 1 se basaron en la reducción en el consumo de combustible observado y fueron determinado de conformidad con los criterios aceptados de la Agencia de Protección Medio-Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tal como lo establecen las tablas AP42 de la USEPA (disponibles en el sitio web de la USEPA).

[166] Hay que anotar que los valores que aparecen arriba se basan en el control del medio-ambiente dentro del horno en el cual se usa el sistema de combustión de oxígeno-combustible. Es decir, los valores mostrados arriba que indican reducción en los contaminantes para los sistemas de combustión de OXIGENO-GAS y OXIGENO-PETROLEO requieren que el horno en el cual están instalados los sistemas de combustión estén diseñados para limitar el ingreso de aire (es decir de nitrógeno en la atmósfera de combustión) a una cantidad insignificante.

[167] Así, como lo apreciarán las personas con experiencia en este campo de la técnica, el uso de oxígeno de alta pureza (o de aire altamente enriquecido con oxígeno) y de cualquier combustible basado en carbono es altamente adaptable a muchos sistemas industriales existentes. Hay que decir que los usos para tal sistema en aplicaciones industriales estándar y convencionales proporcionará un miriada de ventajas y beneficios respecto a los sistemas alimentados y sobre-alimentados por aire que se usan actualmente. Aunque muchas de las actuales

556
46
557

plantas físicas pueden requerir rediseño y modificación para incorporar el presente sistema de combustión de oxígeno-combustible para mejorar el rendimiento y la producción, se ha contemplado que los beneficios ganados haciendo esos cambios en diseño y estructura, tales como reducción en los costos de operación, por ejemplo menores costos en combustible, menores costos de capital y disminución de las emisiones, serán bastante mayores que los costos para hacer esos cambios.

[168] En la presente revelación ha de sobreentenderse que las palabras "un" o "una" incluyen tanto el singular como también el plural. A la inversa, cualquier referencia a ítems plurales ha de incluir, cuando sea apropiado, el singular.

[169] De lo anterior se observará que se pueden hacer numerosas modificaciones y variaciones sin apartarse del verdadero espíritu y alcance de los conceptos novedosos de la presente invención. Se ha de sobrentender que las formas específicas de realización ilustradas no tienen propósito limitante y que de ellas no se debe inferir limitación alguna. La revelación tiene el propósito de cubrir mediante las reivindicaciones adjuntas todas las modificaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones.

SS7
67
SSB

REIVINDICACIONES

1 Un método de combustión que comprende los pasos de:

Proporcionar un horno que tiene al menos un quemador y que está configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

abastecer oxígeno que tiene una pureza de la menos aproximadamente 85 por ciento;

alimentar el oxígeno y el combustible basado en carbono al horno en una proporción estequiométrica del uno respecto al otro;

limitar un exceso ya sea de oxígeno o de combustible basado en carbono a menos del 5 por ciento respecto a la proporción estequiométrica; y

controlar la combustión del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama por encima de aproximadamente 2482° C, y para producir una corriente de gas de desecho del horno la cual tiene una temperatura no mayor de aproximadamente 593° C.

2 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 1, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de oxígeno y de alimentación de combustible basado en carbono al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del oxígeno para mantener la proporción estequiométrica.

3 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 1, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de combustible basado en carbono y de alimentación de oxígeno al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del combustible basado en carbono para mantener la proporción estequiométrica.

4 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 1, incluyendo los pasos de establecer una o más temperaturas deseadas dentro del horno y controlando al menos el abastecimiento de combustible o el abastecimiento de oxígeno para mantener una o más temperaturas en el horno en o por debajo de una o varias temperaturas deseadas.

SS8
68
SSA

5 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 4, en el cual la una o las varias temperaturas deseadas se basan en parte en la transferencia de calor según ésta es afectada por la geometría del horno.

6 Un método de combustión que comprende los pasos de:

proporcionar un horno que tiene un medio ambiente controlado, no teniendo el horno substancialmente fuga alguna del medio ambiente del exterior hacia el interior, y que está configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

abastecer oxígeno que tenga una pureza predeterminada;

abastecer un combustible basado en carbono;

alimentar el oxígeno y el combustible basado en carbono al horno en proporción estequiométrica del uno respecto al otro;

limitar un exceso ya sea de oxígeno o de combustible basado en carbono a menos del 5 por ciento sobre la proporción estequiométrica; y

controlar la combustión del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama por encima de aproximadamente 2482° C., para producir una corriente de gas de escape del horno la cual tiene substancialmente cero compuestos gaseosos que contienen nitrógeno producidos por la combustión provenientes del agente oxidante.

7 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 6, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de oxígeno y de alimentación de combustible basado en carbono al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del oxígeno para mantener la proporción estequiométrica.

8 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 6, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de combustible basado en carbono y de alimentación de oxígeno al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del combustible basado en carbono para mantener la proporción estequiométrica.

559
69
560

9 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 6, incluyendo los pasos de establecer una o más temperaturas deseadas dentro del horno y controlando al menos el abastecimiento de combustible o el abastecimiento de oxígeno para mantener una o más temperaturas en el horno en o por debajo de una o varias temperaturas deseadas.

10 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 9, en el cual la una o las varias temperaturas deseadas se basan en parte en la transferencia de calor según ésta es afectada por la geometría del horno.

11 Un método para operar un horno que comprende los pasos de:

proporcionar un horno que tiene una zona de combustión y que tiene un quemador, estando el horno configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

abastecer a través del quemador un combustible basado en carbono a la zona de combustión;

abastecer oxígeno de una pureza predeterminada al horno para combustión con el combustible basado en carbono; y

controlar la combustión del oxígeno y del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama de aproximadamente 1649° C. y para producir una corriente de gas de escape del horno la cual tiene una temperatura de no mas de aproximadamente 593° C.

12 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 11, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de oxígeno y de alimentación de combustible basado en carbono al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del oxígeno para mantener la proporción estequiométrica.

13 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 11, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de combustible basado en carbono y de alimentación de oxígeno al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del combustible basado en carbono para mantener la proporción estequiométrica.

14 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 11, incluyendo los pasos de establecer una o más temperaturas deseadas dentro del horno y controlando al menos el abastecimiento de combustible o el abastecimiento de oxígeno para mantener una o más temperaturas en el horno en o por debajo de una o varias temperaturas deseadas.

15 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 14, en el cual la una o las varias temperaturas deseadas se basan en parte en la transferencia de calor según ésta es afectada por la geometría del horno.

16 Un método de combustión que comprende los pasos de:

proporcionar un horno que tiene al menos un quemador y que está configurado para evitar substancialmente la introducción de aire;

abastecer oxígeno de una pureza predeterminada mayor del 21 por ciento;

abastecer un combustible basado en carbono;

alimentar el oxígeno y el combustible basado en carbono al horno en una proporción controlada el uno respecto al otro; y

controlar la combustión del combustible basado en carbono para producir una temperatura de llama por encima de 1649° C.

17 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 16, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de oxígeno y de alimentación de combustible basado en carbono al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del oxígeno para mantener la proporción controlada.

18 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 16, incluyendo los pasos de establecer una cantidad de alimentación de combustible basado en carbono y de alimentación de oxígeno al horno en una cantidad que sea dependiente de la cantidad de alimentación del combustible basado en carbono para mantener la proporción controlada.

19 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 16, incluyendo los pasos de establecer una o más temperaturas deseadas dentro del horno y controlando al menos el abastecimiento de combustible o el abastecimiento de oxígeno para mantener una o más temperaturas en el horno en o por debajo de una o varias temperaturas deseadas.

20 El método de combustión de acuerdo con la reivindicación 19, en el cual la una o las varias temperaturas deseadas se basan en parte en la transferencia de calor según ésta es afectada por la geometría del horno.

SG2
72
583

FIG. 1

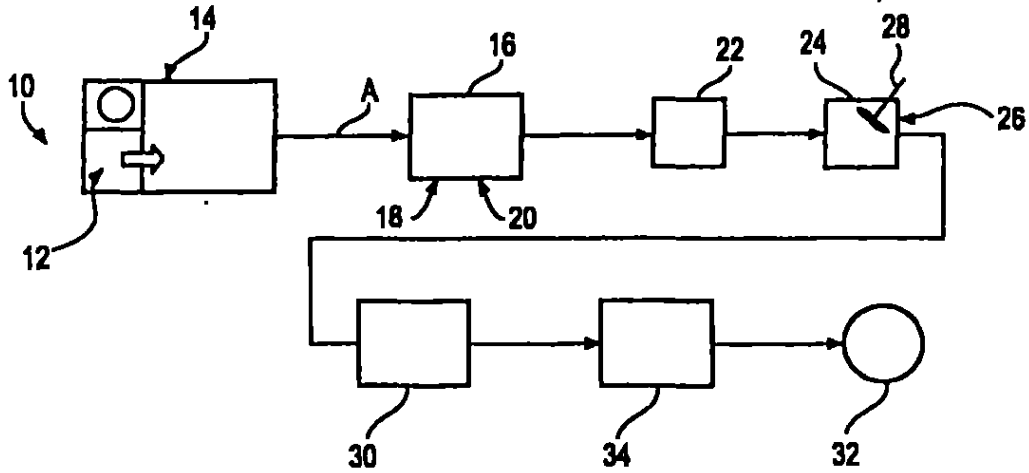


FIG. 2

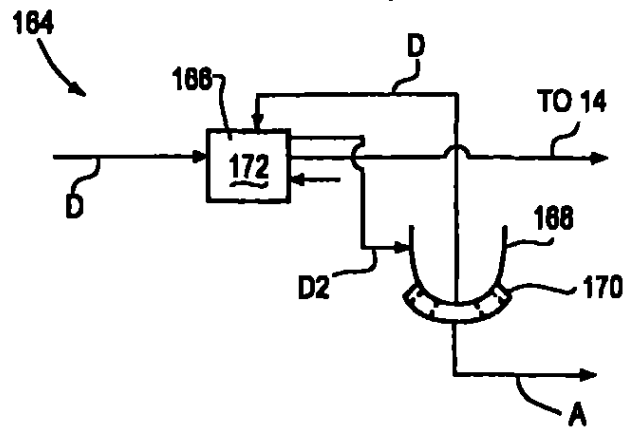
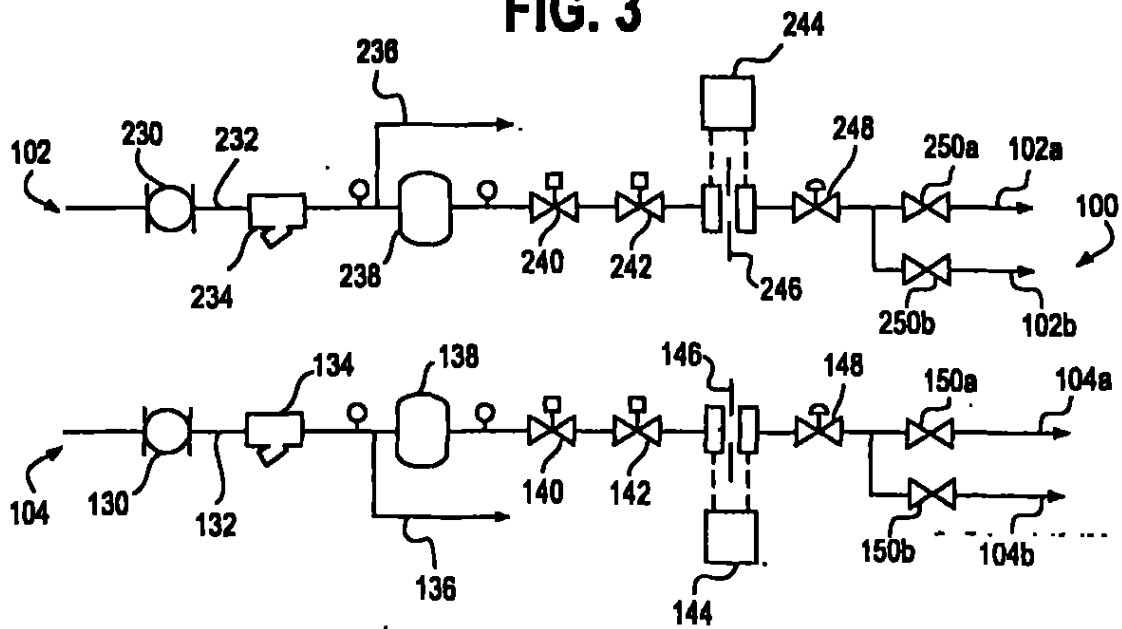


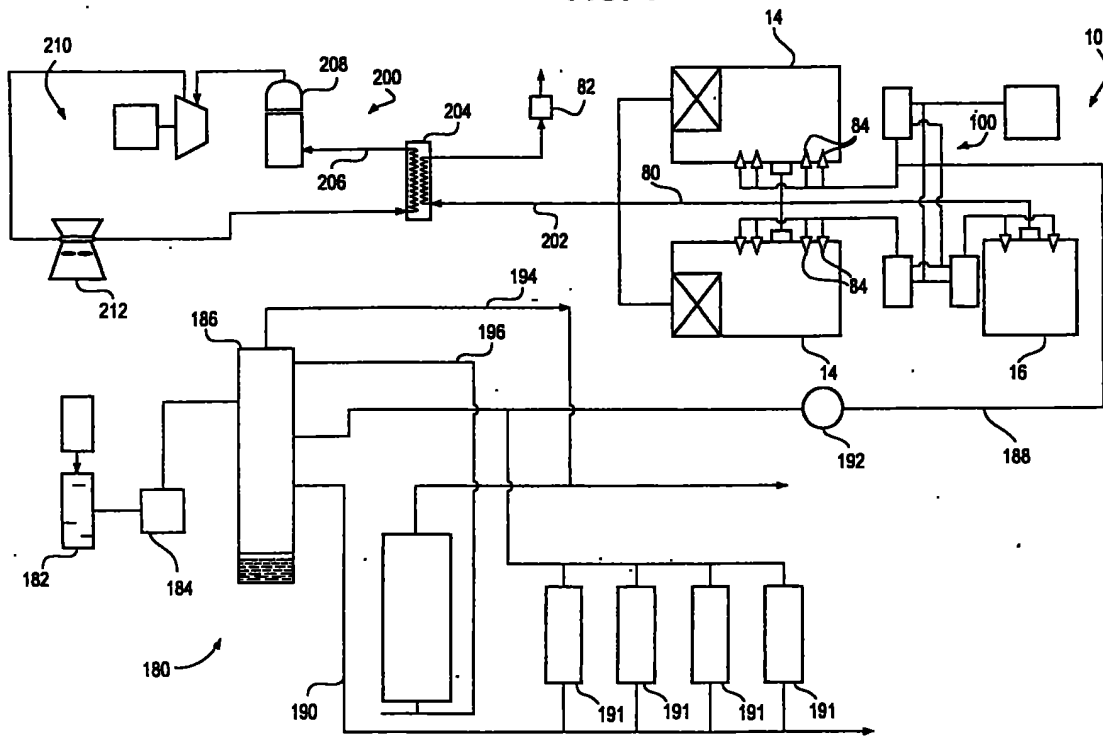
FIG. 3



78

563

FIG. 4



2/5

W/O 02/08/100

PCT/US02/08701

564
74
568

FIG. 5

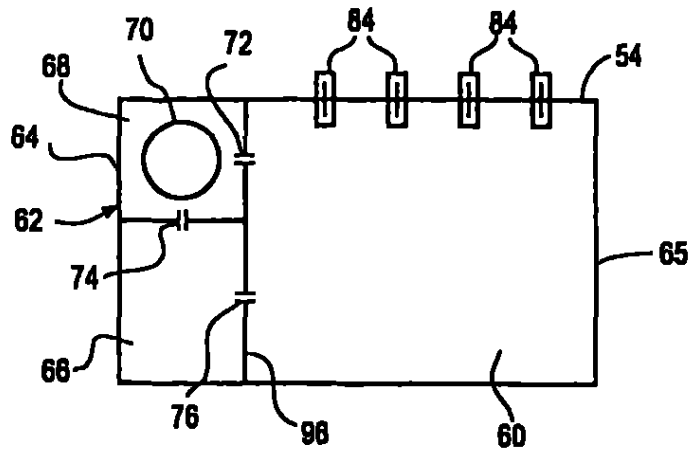


FIG. 6

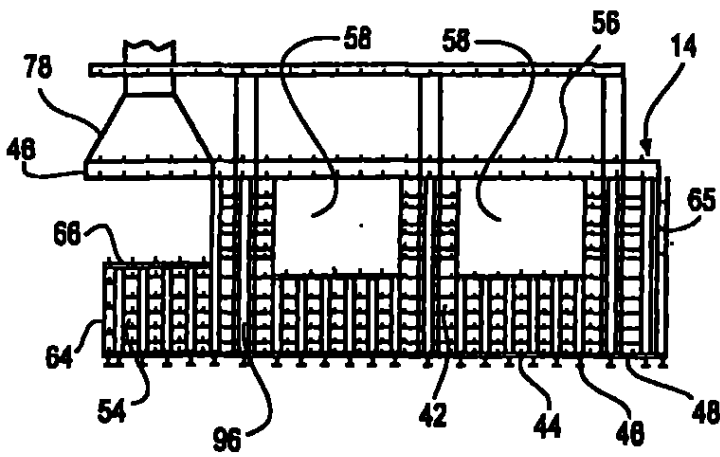


FIG. 7

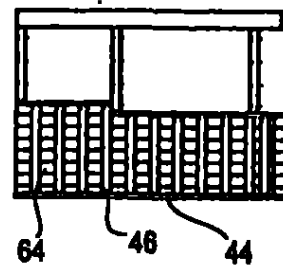


FIG. 8

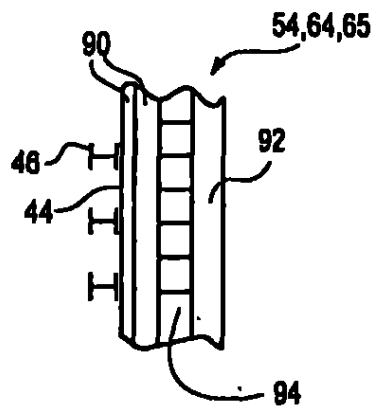
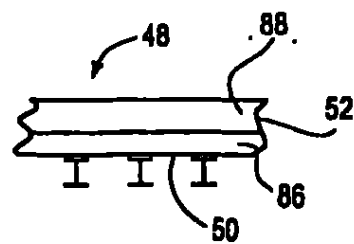


FIG. 9



4/5

FIG. 10

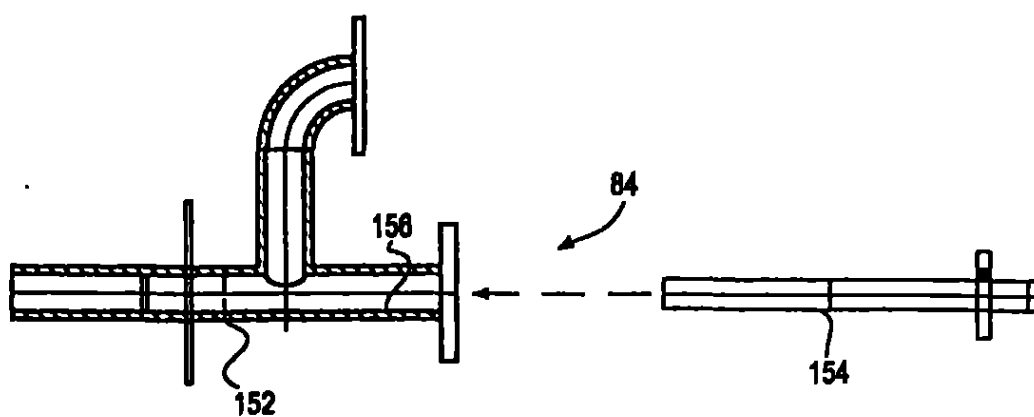
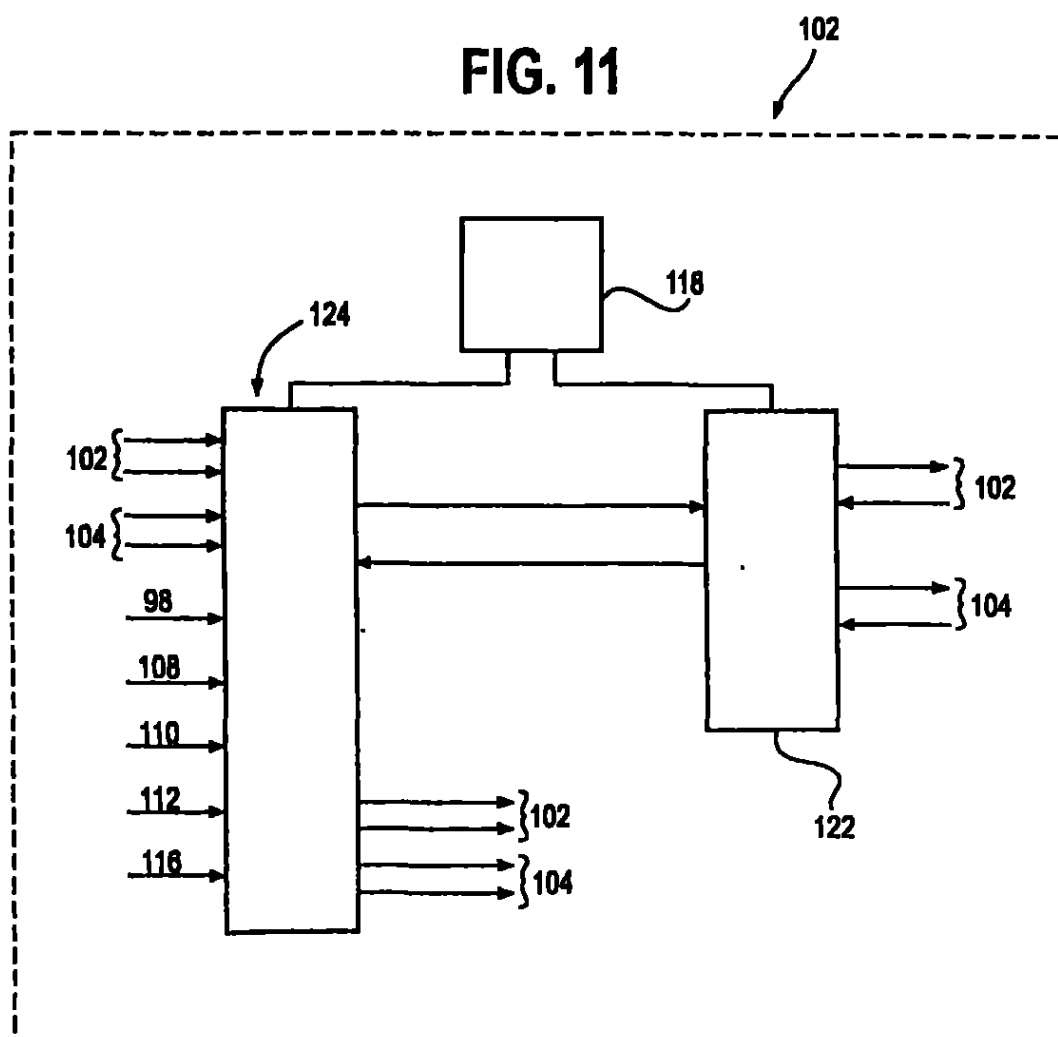


FIG. 11



5/5

FIG. 12

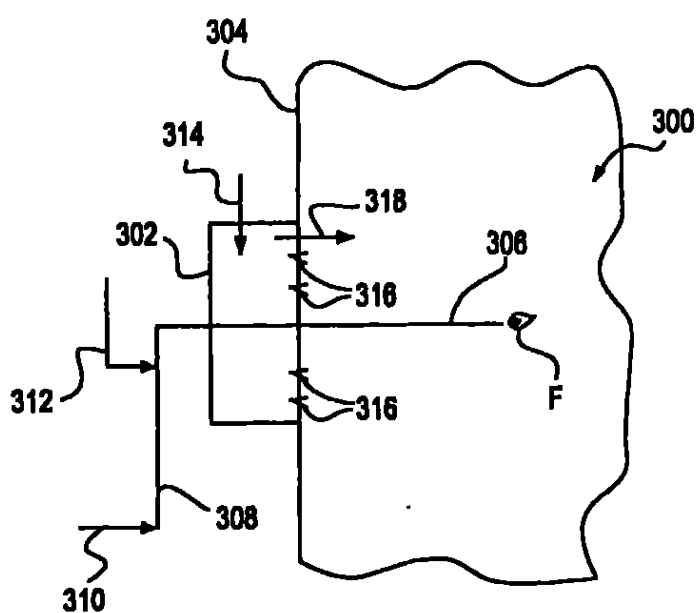
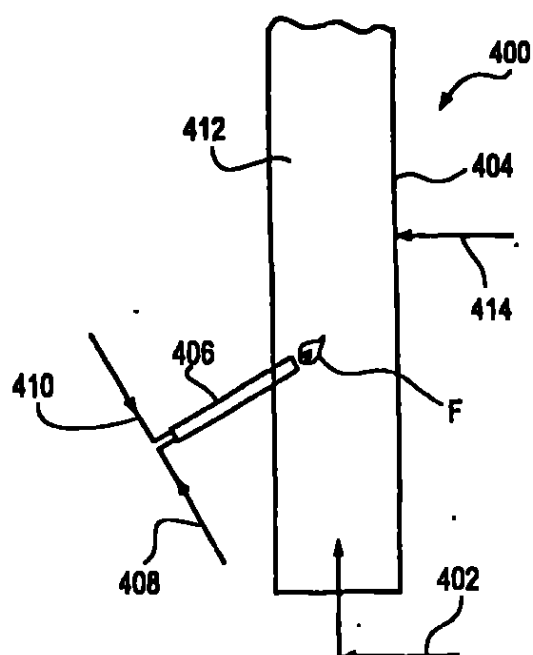


FIG. 13





US006596220B2

(12) **United States Patent**
Gross

(10) Patent No.: **US 6,596,220 B2**
(45) Date of Patent: **Jul. 22, 2003**

(54) **METHOD FOR OXY-FUELED COMBUSTION**

(75) Inventor: **Dietrich M. Gross, Wilmette, IL (US)**

(73) Assignee: **Jupiter Oxygen Corporation, Schiller Park, IL (US)**

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **10/161,230**

(22) Filed: **Jun. 3, 2002**

(65) **Prior Publication Data**

US 2002/0180122 A1 Dec. 5, 2002

Related U.S. Application Data

(63) Continuation of application No. 09/843,879, filed on Apr. 27, 2001, now Pat. No. 6,436,337.

(51) Int. Cl.⁷ **C22B 8/00**

(52) U.S. CL **266/44; 266/200; 266/900; 431/8; 431/181**

(58) Field of Search **431/8, 12, 181, 431/187; 266/242, 200, 900, 901, 44**

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,547,624 A 12/1970 Gray
3,734,719 A 5/1973 Estes
3,904,180 A 9/1975 Bass
3,955,970 A 5/1976 Clanton
4,169,584 A 10/1979 Mangalick

4,730,336 A 3/1988 Hermanson
4,989,841 A 2/1991 Tokumasa
5,743,723 A • 4/1998 Iatrides et al. 431/8
5,871,343 A 2/1999 Beuhel, Jr.
5,883,918 A 3/1999 Gubb
5,954,498 A 9/1999 Joshi
6,190,160 B1 2/2001 Hibon
6,418,865 B2 7/2002 Maria
6,436,337 B1 • 8/2002 Gross 266/242

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 0 962 540 A1 9/1998

* cited by examiner

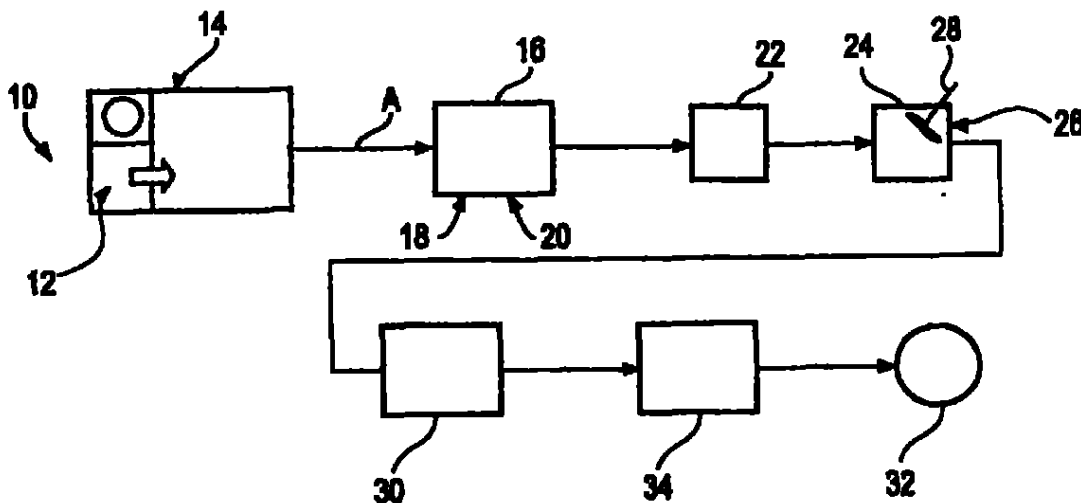
Primary Examiner—Scott Kastler

(74) Attorney, Agent, or Firm—Weinh & Katz, Ltd.

(57) **ABSTRACT**

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having at least one burner, an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity, and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of 4500° F. The exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent and reduced green-house gases. Substantially less carbon based fuel is required than conventional combustion systems without a loss of energy output.

20 Claims, 5 Drawing Sheets



568
78
569

FIG. 1

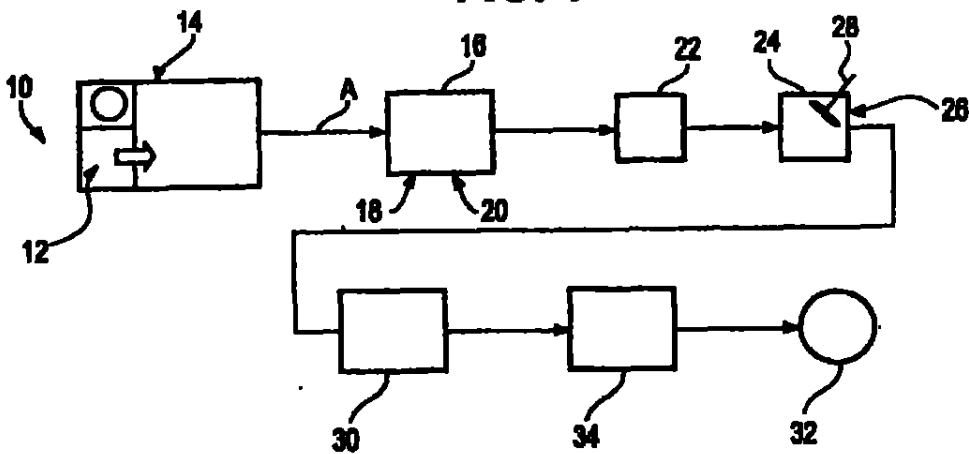


FIG. 2

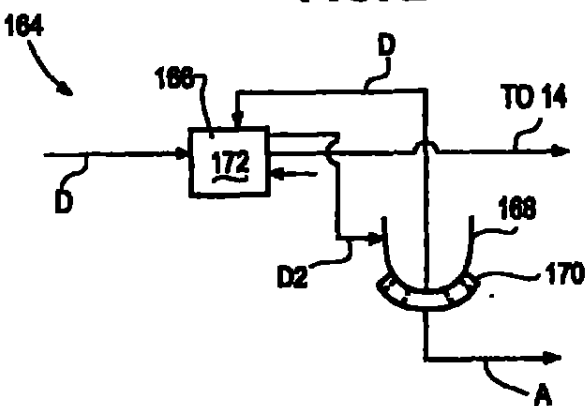
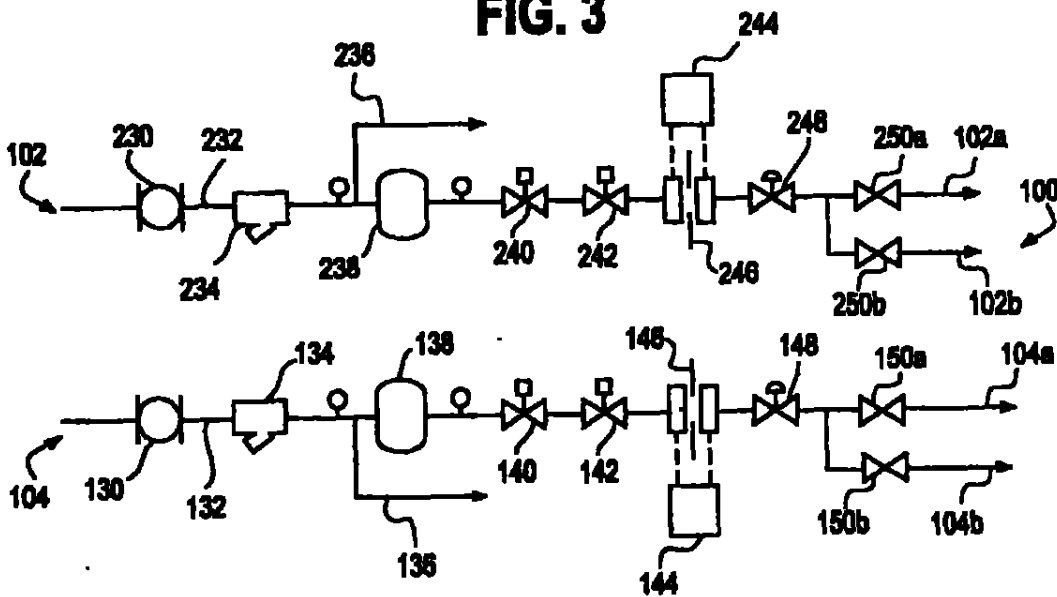
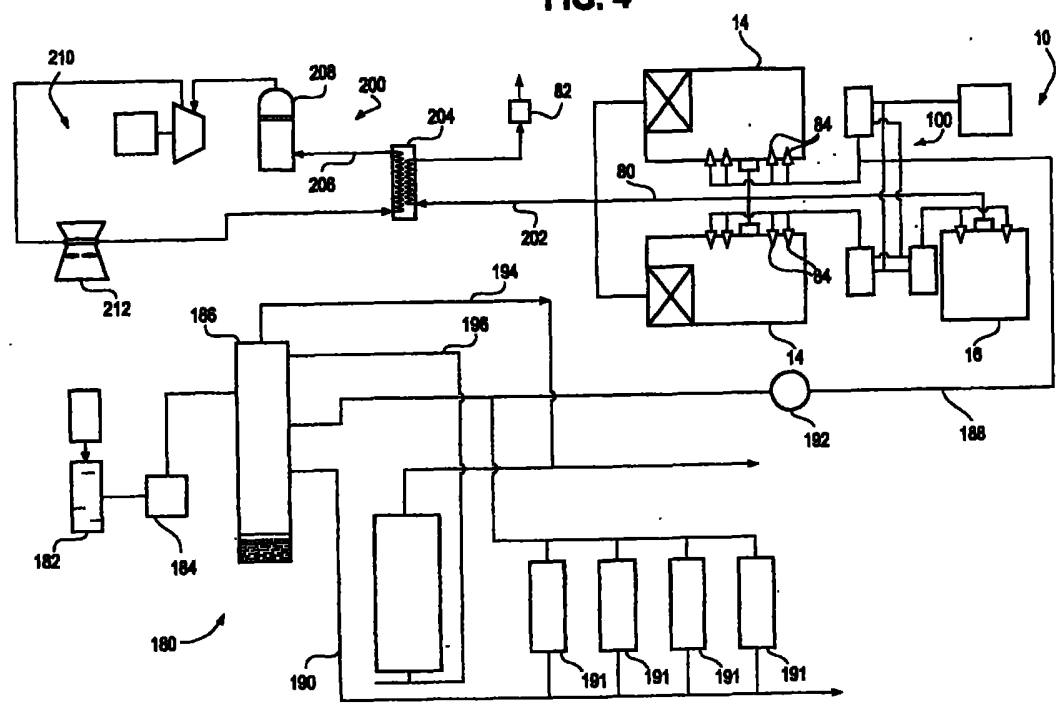


FIG. 3



5/10
6/2

FIG. 4



570
88
571

FIG. 5

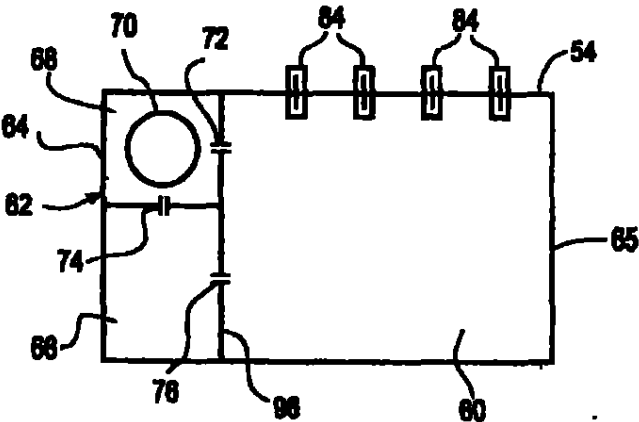


FIG. 6

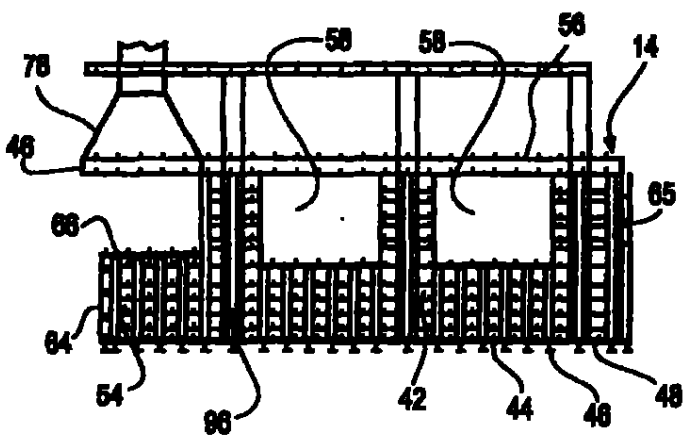


FIG. 7

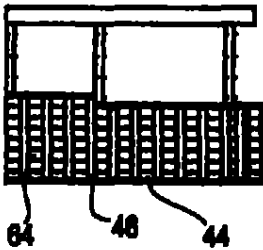


FIG. 8

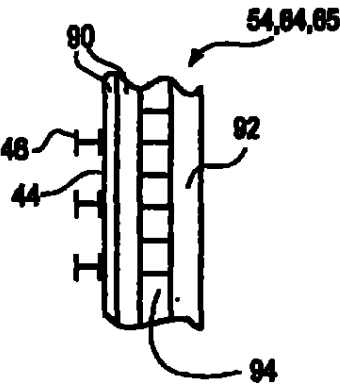
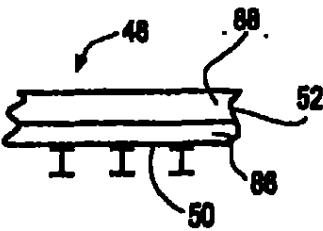


FIG. 9



371
87
572

FIG. 10

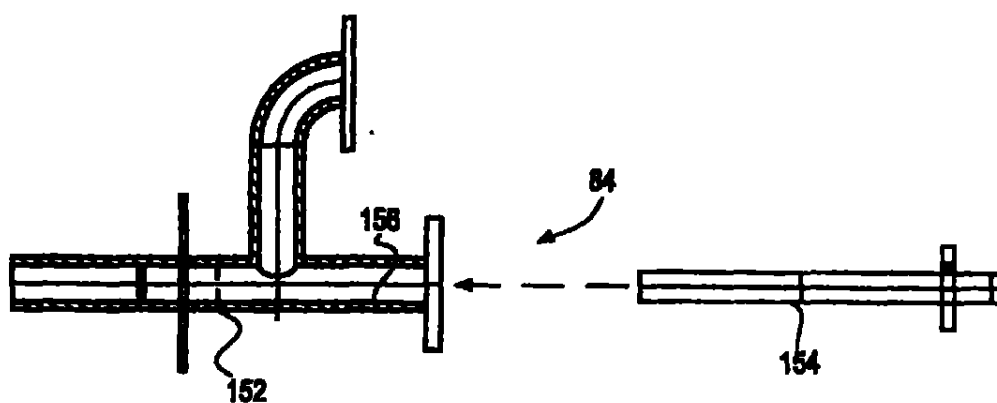
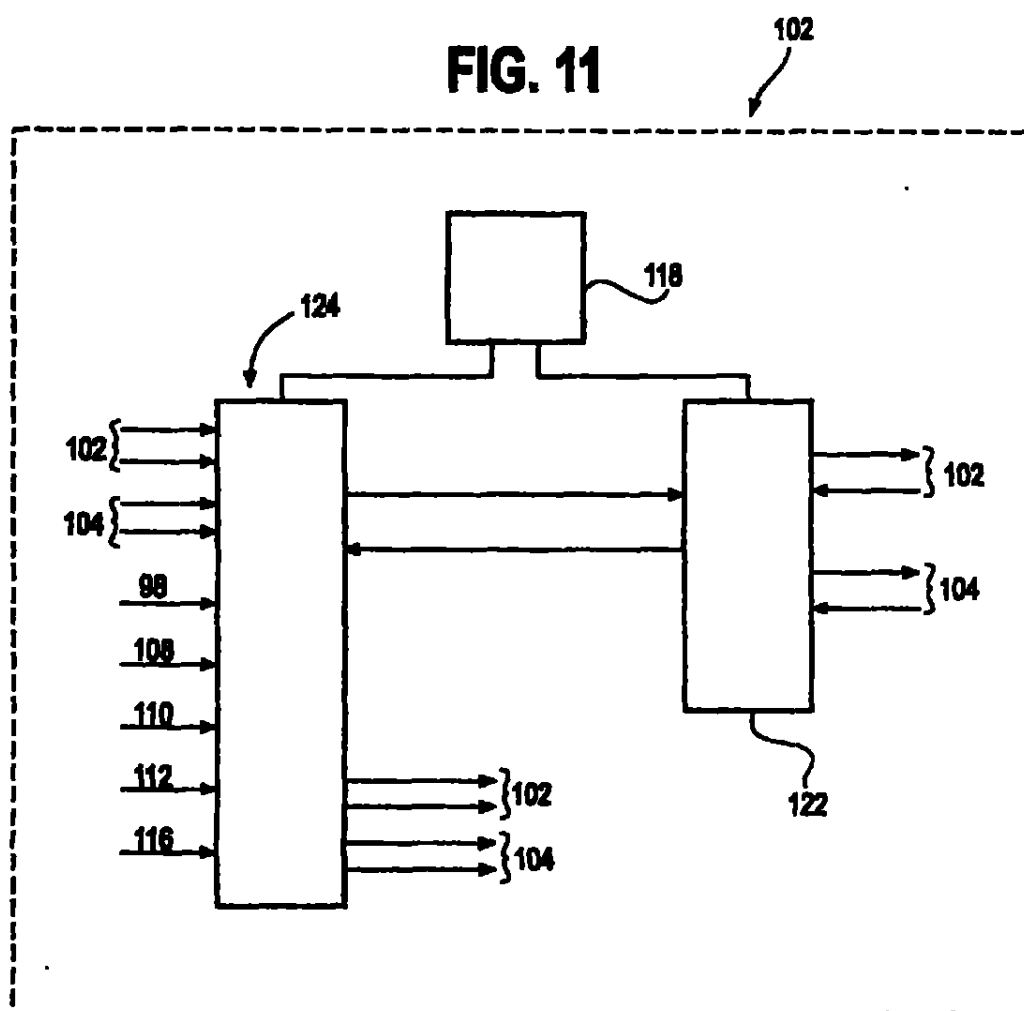


FIG. 11



572
82
573

FIG. 12

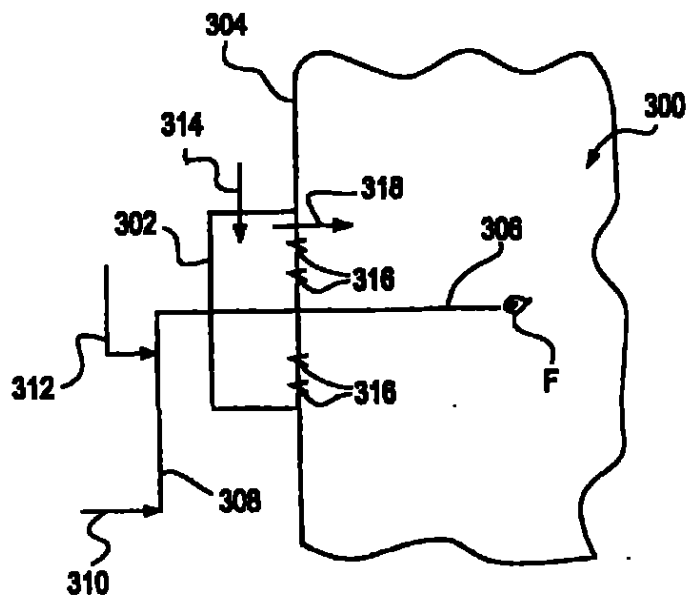
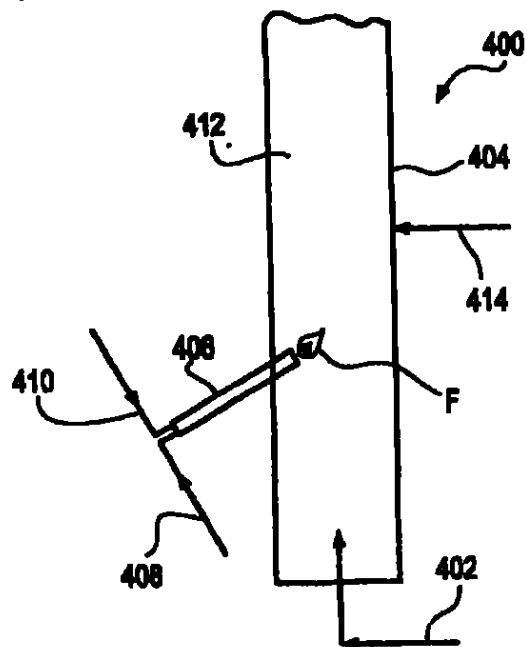


FIG. 13



METHOD FOR OXY-FUELED COMBUSTION

CROSS REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application is a continuation of U.S. patent application Ser. No. 09/843,679, filed Apr. 27, 2001 now U.S. Pat. No. 6,436,337.

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present invention pertains to an oxygen fueled combustion system. More particularly, the present invention pertains to an oxy-fueled combustion system in which the production of green-house gases is reduced and in which fossil fuel consumption is reduced.

Oxygen fueled burner systems are known, however, their use is quite limited. Oxy-fueled burner systems are generally only used in those applications in which extremely high flame temperatures are required. For example, these systems may be used in the glass making industry in order to achieve the temperatures necessary to melt silica to a fusion temperature. Otherwise, it is commonly accepted that structural and material limitations dictate the upper temperatures to which many industrial systems can be subjected. To this end, air fueled or air fired combustion systems are used in boilers, furnaces and the like throughout most every industrial application including manufacturing, electric power generating and other process applications.

In particular, air fueled combustion systems or electric heating systems are used throughout the steel and aluminum making industries, as well as the power generation industry, and other industries that rely upon carbon based fuels. In air fueled systems, air which is comprised of about 79% nitrogen and 21% oxygen, is fed, along with fuel into a furnace. The air fuel mixture is ignited creating a continuous flame. The flame transfers energy in the form of heat from the fuel air mixture into the furnace.

In the steel and aluminum industries, air fueled furnaces and electric furnaces have been used as the primary heat source for creating molten metals. With respect to air fueled furnaces, it is conventionally accepted that the energy requirements, balanced against the thermal limitations of the process equipment, mandate or strongly support the use of these types of combustion systems. As to the use of electric furnaces in the aluminum industry, again, conventional wisdom supports this type of energy source to achieve the temperatures necessary for aluminum processing.

One drawback to the use of air fueled combustion systems, is that these systems produce NOx and other green-house gases such as carbon dioxide, sulfur dioxide and the like, as an inherent result of the combustion process. NOx and other green-house gases are a large contributor to environmental pollution, including, but not limited to acid rain. As such, the reduction in emission of NOx and other green-house gases is desirable, and as a result of regulatory restrictions, emission is greatly limited. To this end, various devices must be installed on these combustion systems in order to limit and/or reduce the levels of NOx and other green-house gases produced.

Another drawback with respect to air fueled furnaces is that much of the energy released from the combustion process is absorbed or used to heat the gaseous nitrogen present in the air that is fed to the furnace. This energy is essentially wasted in that the heated nitrogen gas is typically, merely exhausted from the heat source, e.g., furnace. To this end, much of the energy costs are directed into the

environment, through an off-gas stack or the like. Other drawbacks of the air fed combustion systems known will be recognized by skilled artisans.

Electric furnaces likewise have their drawbacks. For example, inherent in these systems as well is the need for a source of electricity that is available on a continuous basis, essentially without interruption. In that large amounts of electric power are required to operate electric furnaces, it is typically necessary to have these electric furnaces located in proximity to electric generating plants and/or large electrical transmission services. In addition, electric furnaces require a considerable amount of maintenance to assure that the furnaces are operated at or near optimum efficiency. Moreover, inherent in the use of electric furnaces is the inefficiency of converting a fuel into electrical power (most large fossil fueled power stations that use steam turbines operate at efficiencies of less than about 40 percent, and generally less than about 30 percent). In addition, these large fossil fueled stations produce extremely large quantities of NOx and other green-house gases.

For example, in the aluminum processing industry, and more specifically in the aluminum scrap recovery industry, conventional wisdom is that flame temperatures in furnaces should be maintained between about 2500° F. and 3000° F. This range is thought to achieve a balance between the energy necessary for providing sufficient heat for melting the scrap aluminum, and maintaining adequate metal temperatures in the molten bath at about 1450° F. Known furnaces utilize a design in which flame temperatures typically do not exceed 3000° F. to assure maintaining the structural integrity of these furnaces. That is, it is thought that exceeding these temperature limits can weaken the support structure of the furnace thus, possibly resulting in catastrophic accidents. In addition, stack temperatures for conventional furnaces are generally about 1600° F. Thus, the temperature differential between the flame and the exhaust is only about 1400° F. This results in inefficient energy usage for the combustion process.

It is also believed that heat losses and potential damage to equipment from furnaces in which flame temperatures exceed about 3000° F. far outweigh any operating efficiency that may be achieved by higher flame temperatures. Thus, again conventional wisdom fully supports the use of air fueled furnaces in which flame temperatures are at an upper limit of about 3000° F. (by flame stoichiometry) which assures furnace integrity and reduces energy losses.

Accordingly, there exists a need for a combustion system that provides the advantages of reducing environmental pollution (attributable to NOx and other green-house gases) while at the same time providing efficient energy use. Desirably, such a combustion system can be used in a wide variety of industrial applications, ranging from the power generating/utility industry to chemical processing industries, metal production and processing and the like. Such a combustion system can be used in metal, e.g., aluminum, processing applications in which the combustion system provides increased energy efficiency and pollution reduction. There also exists a need, specifically in the scrap aluminum processing industry for process equipment (specifically furnaces) that are designed and configured to withstand elevated flame temperatures associated with such an efficient combustion system and to increase energy efficiency and reduce pollution production.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

An oxygen fueled combustion system includes a furnace having a controlled environment, and includes at least one

573
87
574

burner. The combustion system includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel. The present oxy fuel combustion system increases the efficiency of fuel consumed (i.e., requires less fuel), produces zero NO_x (other than from fuel-borne sources) and significantly less other green-house gases.

The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The combustion system preferably includes a control system for controlling the supply of carbon based fuel and for controlling the supply of oxygen to the furnace. In the control system, the supply of fuel follows the supply of oxygen to the furnace. The supply of oxygen and fuel is controlled by the predetermined molten aluminum temperature. In this arrangement, a sensor senses the temperature of the molten aluminum.

The carbon based fuel can be any type of fuel. In one embodiment, the fuel is a gas, such as natural gas, methane and the like. Alternately, the fuel is a solid fuel, such as coal or coal dust. Alternately still, the fuel is a liquid fuel, such as a fuel oil, including waste oils.

In one exemplary use, the combustion system is used in a scrap aluminum recovery system for recovering aluminum from scrap. Such a system includes a furnace for containing molten aluminum at a predetermined temperature, that has at least one burner. The recovery system includes an oxygen supply for supplying oxygen to the furnace through the combustion system. To achieve maximum efficiency, the oxygen supply has an oxygen purity of at least about 85 percent.

A carbon based fuel supply supplies a carbon based fuel. The oxygen and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the carbon based fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

In such a recovery system, the combustion of oxygen and fuel creates energy that is used for recovering aluminum from the scrap at a rate of about 1083 BTU per pound of aluminum recovered. The fuel can be a gas, such as natural gas, or it can be a solid fuel or a liquid fuel.

In the recovery system, heat from the furnace can be recovered in a waste heat recovery system. The recovered heat can be converted to electrical energy.

In a most preferred system, the combustion system includes a system for providing oxygen. One such system separates air into oxygen and nitrogen, such as a cryogenic separation system. Other systems include membrane separation and the like. Oxygen can also be provided by the separation of water into oxygen and hydrogen. In such systems, the oxygen can be stored for use as needed. Other systems are known for oxygen generation/separation.

The oxygen fueled combustion system, generally, can be used with any furnace that has a controlled environment. That is, with any furnace that has substantially no in-leakage from an external environment. Such a combustion system

includes an oxygen supply for supplying oxygen having a predetermined purity and a carbon based fuel supply for supplying a carbon based fuel.

The oxygen in the oxygen supply and the carbon based fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. In such a furnace, an exhaust gas stream from the furnace has substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds. That is, because there is no nitrogen fed in with the fuel, unless there is fuel-borne nitrogen, the exhaust gas contains substantially no nitrogen containing combustion products (i.e., NO_x), and significantly lowered levels of other green-house gases.

This combustion system can use any carbon based fuel including gas, such as natural gas or methane, any solid fuel such as coal or coal dust or any liquid fuel, such as oil, including waste and refined oils. In such a combustion system, any nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds are formed from the fuel-borne nitrogen.

A method for recovering aluminum from scrap includes feeding aluminum scrap into a melting furnace and combusting oxygen and a carbon based fuel in the furnace. In the combustion of the oxygen and fuel, the oxygen and fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

The aluminum is melted in the furnace, contaminant laden aluminum is removed from the furnace and substantially pure molten aluminum is discharged from the furnace. The method can include the step of recovering aluminum from the contaminant laden aluminum, i.e., dross, and charging the recovered aluminum into the furnace.

The method can include recovering waste heat from the furnace. The waste heat recovered can be converted to electricity.

A furnace for recovering aluminum from scrap aluminum includes a bath region for containing molten aluminum at a predetermined temperature, and at least one burner. An oxygen supply supplies oxygen having a purity of at least about 85 percent and a carbon based fuel supply supplies fuel, such as natural gas, coal, oil and the like.

The oxygen in the oxygen supply and the fuel are fed into the furnace in a stoichiometric proportion to one another to limit an excess of either the oxygen or the fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion. The combustion of the fuel provides a flame temperature in excess of about 4500° F., and an exhaust gas stream from the furnace has a temperature of not more than about 1100° F.

In one embodiment, the furnace is formed from steel plate, steel beams and refractory materials. The furnace walls are configured having a steel beam and plate shell, at least one layer of a crushable insulating material, at least one layer of a refractory brick, and at least one layer of a castable refractory material. The furnace floor is configured having a steel beam and plate shell and at least two layers of refractory material, at least one of the layers being a castable refractory material.

A salt-less method for separating aluminum from dross-laden aluminum is also disclosed that includes the steps of introducing the dross-laden aluminum into a furnace. The furnace has an oxygen fuel combustion system producing a

flame temperature of about 5000° F., and having substantially no excess oxygen. The dross-laden aluminum melts within the furnace.

An upper portion of the melted dross-laden aluminum is skimmed to produce a heavily dross-laden product. The heavily dross-laden product is pressed in a mechanical press to separate the aluminum from the heavily dross-laden product to produce a concentrated heavily dross-laden product. The method can include the step of returning the concentrated heavily dross-laden product to the furnace. Introduction of the dross-laden aluminum into the furnace is carried out in near direct flame impingement to release the oxides from the dross.

These and other features and advantages of the present invention will be apparent from the following detailed description, in conjunction with the appended claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE SEVERAL VIEWS OF THE DRAWINGS

The benefits and advantages of the present invention will become more readily apparent to those of ordinary skill in the relevant art after reviewing the following detailed description and accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is an overall flow scheme of an exemplary aluminum scrap recovery process having a melting furnace with an oxygen fueled combustion system, in which green-house gas production and fuel consumption are reduced, embodying the principles of the present invention;

FIG. 2 is an overall flow scheme of a dross processing operation continued from FIG. 1 having a recovery furnace having an oxygen fueled combustion system embodying the principles of the present invention;

FIG. 3 is an exemplary natural gas supply train and oxygen supply train for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 4 is an overall plant scheme showing the oxygen supply, from a cryogenic plant, and flow to the furnaces, and further illustrating an exemplary waste heat recovery plant;

FIG. 5 is a schematic illustration of an aluminum melting furnace for use with an oxygen fueled combustion system in accordance with the principles of the present invention;

FIG. 6 is a side view of the furnace of FIG. 5;

FIG. 7 is a front view of the melting furnace of FIG. 6;

FIGS. 8 and 9 are partial cross-sectional illustrations of a side wall and the floor of the furnace, respectively;

FIG. 10 illustrates a burner assembly for use with the oxygen fueled combustion system;

FIG. 11 is a schematic illustrations of an exemplary control system for use with an oxygen fueled combustion system of the present invention

FIG. 12 is a schematic view of an exemplary power boiler or furnace front wall illustrating a burner and an air feed arrangement, and showing the incorporation of an oxy fuel combustion system therein embodying the principles of the present invention; and

FIG. 13 is a schematic illustration of a waste incinerator showing the incorporation therein of an oxy fuel combustion system embodying the principles of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

While the present invention is susceptible of embodiment in various forms, there is shown in the drawings and will hereinafter be described a presently preferred embodiment

with the understanding that the present disclosure is to be considered an exemplification of the invention and is not intended to limit the invention to the specific embodiment illustrated. It should be further understood that the title of this section of this specification, namely, "Detailed Description Of The Invention", relates to a requirement of the United States Patent Office, and does not imply, nor should be inferred to limit the subject matter disclosed herein.

An oxy-fuel combustion system uses essentially pure oxygen, in combination with a fuel source to produce heat, by flame production (i.e., combustion), in an efficient, environmentally non-adverse manner. Oxygen, which is supplied by an oxidizing agent, in concentrations of about 85 percent to about 99+ percent can be used, however, it is preferable to have oxygen concentration (i.e., oxygen supply purity) as high as possible. In such a system, high-purity oxygen is fed, along with the fuel source in stoichiometric proportions, into a burner in a furnace. The oxygen and fuel is ignited to release the energy stored in the fuel. For purposes of the present disclosure, reference to furnace is to be broadly interpreted to include any industrial or commercial heat generator that combusts fossil (carbon-based) fuels. In a preferred system, oxygen concentration or purity is as high as practicable to reduce green-house gas production.

It is contemplated that essentially any fuel source can be used. For example, in a present application, as will be described in more detail below, oxygen is fed along with natural gas, for combustion in a furnace. Other fuel sources contemplated include oils including refined as well as waste oils, wood, coal, coal dust, refuse (garbage waste) and the like. Those skilled in the art will recognize the myriad fuel sources that can be used with the present oxy-fuel system.

The present system departs from conventional processes in two principal areas. First, conventional combustion processes use air (as an oxidizing agent to supply oxygen), rather than essentially pure oxygen, for combustion. The oxygen component of air (about 21 percent) is used in combustion, while the remaining components (essentially nitrogen) are heated in and exhausted from the furnace. Second, the present process uses oxygen in a stoichiometric proportion to the fuel. That is, only enough oxygen is fed in proportion to the fuel to assure complete combustion of the fuel. Thus, no "excess" oxygen is fed into the combustion system.

Many advantages and benefits are achieved using the present combustion system. It has been observed, as will be described below, that fuel consumption, to produce an equivalent amount of power or heat is reduced, in certain applications, by as much as 70 percent. Significantly, this can provide for a tremendous reduction in the amount of pollution that results. Again, in certain applications, the emission of NOx can be reduced to essentially zero, and the emission of other green-house gases reduced by as much as about 70 percent over conventional air-fueled combustion systems.

An Exemplary Scrap Aluminum Recovery Process

In one specific use, the oxygen fueled combustion system (also referred to as oxy-fuel or oxy-fueled) is used in a scrap aluminum recovery plant 10. A flow process for an exemplary plant is illustrated in FIGS. 1-2. Scrap aluminum, generally indicated at 12 is fed into a melting furnace 14, and is liquefied. The plant 10 can include multiple furnaces operated in parallel 14, one of which is illustrated. The liquefied or molten aluminum is drawn from the melting furnace 14 and is fed into a smaller holding furnace or holder 16. The holding furnace 16 is also an oxy-fueled furnace. The molten aluminum is drawn from the melting furnace 14

85
625
576

as necessary, to maintain a certain, predetermined level in the holding furnace 16. This can result in continuously drawing down from the melting furnace 14 or drawing down in "batches" as required.

In the holding furnace 16, chlorine and nitrogen (as gas), as indicated at 18 and 20, respectively, are fed into the holding furnace 16 to facilitate drawing the impurities from the molten aluminum. The chlorine and nitrogen function as a gaseous fluxing agent to draw the impurities from the aluminum. This can also be carried out in the melting furnaces 14 to increase cleaning of oily and dirty scrap. Other contemplated fluxing agents include gaseous argon hexafluoride. The holder 16 is actively heated and operates at a molten metal temperature of about 1300° F. The air temperature in the holder 16 is slightly higher.

The molten aluminum is then filtered. Presently, a bag-type particulate filter 22 is used. However, other types of filters are known and can be used. The filtered, molten aluminum is then fed through a degasser 24.

In the degasser 24, a fluxing agent, such as an inert gas (again, nitrogen is used, as indicated at 26) is fed into the molten aluminum. The molten aluminum is agitated, such as by a mechanical stirrer 28 and the fluxing agent 26 bubbles up through the molten aluminum to draw impurities (e.g., oxides) from the aluminum.

The molten aluminum is then fed into an in-line caster 30. In the caster 30, the aluminum is cast into continuous plate. The cast thickness can be any where from 0.010 inches up to 0.750 inches or more. The aluminum can then be rolled into a coil, as indicated at 32, for use or further processing. In a present method, the aluminum proceeds from the caster 30 through a pair of hot milling machines 34 where the plate is milled to a final thickness or gauge, presently about 0.082 inches (82 mils) and is then rolled to form the coil 32. Those skilled in the art will understand and appreciate the various end forming and finishing processes that can be carried out on the metal. All such forming and finishing processes are within the scope and spirit of the present invention.

Returning to the melting furnace 14, as stated above, it is an oxy-fuel furnace. It is fed with a carbon based fuel, such as natural gas, in stoichiometric proportion with oxygen. This is unlike known furnaces which use fuel and air mixtures. The fuel/air mixtures feed nitrogen as well as oxygen into the furnace to support the combustion process. This results in the production of undesirable NOx off-gases. In addition, the nitrogen also absorbs energy from the molten aluminum, thus reducing the overall efficiency of the process. That is, because the percentage of nitrogen in air is so great, a large amount of energy goes into heating the nitrogen rather than the aluminum.

The oxygen/natural gas proportions in the present melting and holding furnaces 14, 16 are about 2.36:1. This ratio will vary depending upon the purity of the oxygen supply and the nature of the fuel. For example, under perfect conditions of 100 percent pure oxygen, the ratio is theoretically calculated to be 2.056:1. However, the oxygen supply can have up to about 15 percent non-oxygen constituents and natural gas is not always 100 percent pure. As such, those skilled in the art will appreciate and understand that the ratios may vary slightly, but the basis for calculating the ratios, that is stoichiometric proportions of fuel and oxygen, remains true.

This proportion of oxygen to fuel provides a number of advantages. First, this stoichiometry provides complete combustion of the fuel, thus resulting in less carbon monoxide, NOx and other noxious off-gas emissions (other green-house gases generally). In addition, the controlled oxygen proportions also reduce the amount of oxides present

in the molten aluminum. This, in turn, provides a higher quality final aluminum product, and less processing to remove these undesirable oxide contaminants.

It is important to note that accurately controlling the ratio of oxygen to fuel assures complete burn of the fuel. This is in stark contrast to, for example, fossil fueled power plants (e.g., utility power plants), that struggle with LOI (loss on ignition). Essentially, LOI equates to an incomplete burn of the fuel. In the present method; on the other hand, substantially pure oxygen, in tightly controlled stoichiometric proportion to the fuel, minimizes and possibly eliminates these losses. In addition, in the present method, the only theoretical NOx available is from fuel-borne NOx, rather than that which could otherwise result from combustion using air. Thus, NOx, if not completely eliminated is reduced to an insignificant amount compared to conventional combustion systems.

Oxides in aluminum come from two major sources. First, from the combustion process; second, from oxides that reside in the aluminum. This is particularly so with poor grade scrap or primary metal. The present process takes into consideration both of these sources of oxides and reduces or eliminates their impact on the final aluminum product. First, the present process reduces oxides that could form as a result of the oxygen fed for the combustion of the fuel. This is achieved by tightly controlling oxygen feed to only that necessary by stoichiometric proportion for complete combustion of the fuel.

The present process takes into consideration the second sources of oxides (that residing in the aluminum), and removes these oxides by virtue of the degassing and filtering processes. The benefits are two fold. The first is that less byproduct in the form of dross D is formed; second, the quality of the finished product is greatly enhanced.

It has also been found that using a fuel/oxygen mixture (again, rather than a fuel/air mixture) results in higher flame temperatures in the melting furnace. Using oxy-fuel, flame temperatures in the furnace of about 5000° F. are achieved. This is higher, by about 1500° F. to 2000° F., than other, known furnaces. It has also been observed that using oxy-fuel, in conjunction with these higher flame temperatures, results in an extremely highly efficient process. In one measure of efficiency, the energy required (in BTU) per pound of processed aluminum is measured. In a known process, the energy required is about 3620 BTU/lb of processed product. In the present process and apparatus, the energy requirements are considerably less, about 1083 BTU/lb of metal processed. It should also be noted that although the "fuel" discussed above in reference to the present method is natural gas, any organic based fuel, such as oil (including waste oil), coal, coal dust and the like can be used.

For purposes of understanding the thermodynamics of the process, the theoretical energy required to melt a pound of aluminum is 504 BTUs. However, because specific process inefficiencies are inherent, the actual energy required was found to be about 3620 BTU/lb when using an air fired combustion system. These inefficiencies include, for example, actual processing periods being less than the actual time that the furnace is "fired", and other downstream process changes, such as caster width increases or decreases. In addition, other "losses" such as stack (heat) losses, and heat losses through the furnace walls, add to this energy difference.

Moreover, the value of 1083 BTU/lb is an average energy requirement, even taking into account these "losses". It has been found that when the process is running at a high

86
577 576

efficiency rate, that is when aluminum is processed almost continuously, rather than keeping the furnace "fired" without processing, the "average" energy requirement can be reduced to about 750 BTU/lb to 900 BTU/lb.

The Melting Furnace

A present melting furnace 14 is constructed primarily of steel and refractory materials. Referring to FIGS. 5-9, the furnace shell 42 has outside dimensions of about 20 feet in width by 40 feet in length by 12 feet in height. The steel shell structure 42 is formed from plates and beams. Plates and beams will be identified through as 44 and 46, respectively, for the furnace shell 42 structure, except as indicated. The floor 48 is fabricated from one-inch thick plate 44 steel that is welded together. Each weld is above a beam 46 to assure the integrity of the furnace shell 42.

Additional beams 46 are provided for furnace floor 48 support. Each beam 46 provides an 8 inch wide flange about every 18 inches on center. All of the beams 46 (exclusive of the joining beams which are completely seam welded) are stitched to the bottom plate 50. This permits "growth" in the steel due to thermal expansion during heating.

The beams 46 provide support and rigidity to the furnace bottom 52. The beams 46 maintain the furnace 14 rigid to reduce flexing during installation of the refractory and long-term use. The beams 46 also provide support so that during operation of the furnace 14 the mechanical loading on the refractory materials is minimized. The beams 46 also elevate the furnace bottom 52 from the floor on which the furnace 14 is mounted. This allows heat, which builds up under the furnace 14, to escape.

The furnace side walls 54 are likewise made of a steel plate and beam construction. Two wall regions are recognized, above metal line and below metal line. This distinction is made for both strength and thermal value considerations.

Below metal line, the plate is $\frac{3}{4}$ inch thick. Above metal line, the plate is $\frac{1}{2}$ inch thick. In the present furnace, the first eight feet are considered (for design purposes) below metal line and the upper four feet are considered (for design purposes) above metal line.

Beams 46 are used to support the side walls 54 of the furnace 14. The beams 46 are set on 18 inch centerlines running vertically along the furnace 14. Horizontal beams 46 are placed at 18 inch centers below metal line and 24 inch centers above metal line. Although the metal line in the furnace 14 varies, it is, for design considerations, the highest level of metal that will be in the furnace 14 during normal operation. Additional factors may be considered, in which, for example, the metal line can be assumed to be nine inches above the maximum fill line of the furnace 14.

The roof 56 of the furnace 14 is a hanging refractory design. Beams 46 are on 18 inch centers along the width of the furnace 14. Additional beams 46 are welded to beams extending across the width, which additional beams are oriented along the length of the furnace 14. Clips are mounted to the beams, to which precast refractory blocks are mounted.

The furnace 14 has two main doors 58 on the furnace side 54. The doors 58 are used during operation for skimming or cleaning the main furnace heat chamber or bath area 60 and for main furnace chamber 60 charging. Dross D (the contaminant slag that forms on the surface of molten aluminum) builds up inside the furnace 14 and must be cleaned out at least once a day to maintain heat transfer rates. The dross D is removed by opening the doors 58 and skimming the surface of the molten metal pool.

Although during typical operation, metal or scrap is placed in the charge well 62, and is subsequently melted and

transferred to the furnace heat chamber 60, some types of scrap, such as sows or ingot, are better placed directly in the main heat chamber 60. The doors 58 can be opened to transfer these types of loads to the heat chamber 60.

The doors 60 are of steel and refractory construction. The doors 60 are hung on a mechanical pulley system (not shown) and are protected by safety chains to prevent them from falling to the ground in the event that the pulley system fails. Powered winches are used to operate the doors. The doors 60 are hung from a common cross member, which is supported from the side 54 of the furnace 14.

The main charge well 62 is located on the front 64 of the furnace 14. The well 62 is partitioned from the furnace heat chamber 60 and is partitioned into two areas: a charging area 66; and a circulation pump area 68. A circulation pump 70 circulates metal from the hot pool of molten aluminum in the main chamber 60 to the scrap charging area 62.

There are three openings, indicated at 72, 74 and 76, between the chambers 60, 66 and 68. The first opening 72 is in the partition between the main chamber 60 and the pump well 68. The second opening 74 is in the partition between the pump well 68 and the scrap charging area 66. The third opening 76 is in the partition between the charge well 66 and the main heat chamber 60.

All of the openings 72, 74 and 76 are about one foot below the physical or actual metal line of the furnace 14. The openings 72, 74 and 76 are below metal line to maintain the heat inside the main chamber 60, and to prevent the flow of oxides between the partitioned areas of the furnace 14 and to maintain the furnace air-tight (i.e., maintain a controlled environment within the furnace 14). The pump 70 is located in an elevated area to prevent excessive furnace garbage, rocks and dross from accumulating in and around the pump 70.

An exhaust hood 78 is positioned above the charge chamber 66. The hood 78 is fabricated from steel and is mounted on beams 46 similar to those from which the side walls 54 are fabricated. The beams 46 are positioned on a plate that covers the side wall of the well, essentially capping it off. The hood 78 vents the main furnace chamber 60 through a stack 80 (see FIG. 4). The stack 80 exhausts gases from the furnace 14 and can be closed off to maintain pressure in the furnace 14.

Exhaust gases exit the furnace 14 and flow to a baghouse 82 (FIG. 4). The baghouse 82 is used primarily for collection of unburned carbon from paints, oils, solvents and the like inherent in scrap aluminum processing.

The furnace 14 includes four oxy-fuel burners 84. The burners 84 are installed on a side wall 54 of the furnace 14, opposite the doors 58. Steel is constructed surrounding the burners 84 to allow for mounting the burners 84 and maintaining the surrounding wall rigid.

The furnace 14 is lined with refractory materials. The floor 48 is fabricated from two different refractory materials. The first material 86 is a poured alab, about six inches thick, of a high strength, castable refractory, such as AP Green KS-4, that forms a sub hearth. A floor material 88 is poured above the sub hearth 86 in monolithic fashion having a thickness of about thirteen to fourteen inches. The floor material 88 is an AP Green 70AR refractory. It is a 70 percent alumina, aluminum resistant castable refractory.

The walls 54, 64 and 65 are fabricated from two layers of insulation 90 followed by the 70AR castable or monolithic, phosphate bonded 85 percent alumina (MONO P85) plastic ramming refractory 92. The alumina content of this material is 85 percent. The backing insulation 90 is insulating board, about two inches thick in the side walls 54 of the furnace and

87
570577

88
579 578

11

about three inches thick on the front and rear walls 64, 65 of the furnace. The difference in insulation 90 thickness is to accommodate thermal expansion of the furnace 14. The furnace walls 54, 64 and 65 will grow about $\frac{1}{4}$ inch per linear foot. Thus, the furnace 14 will grow (along the 40 foot length) a total of about 5 inches. In that there is six inches of backing insulation 90 (each the front and rear has three inches), the insulation 90 will crush and allow for growth in the furnace walls 54, 64 and 65 without damaging the furnace shell 42.

Insulating brick 94 is positioned between the crushable insulation board 90 and the cast refractory 92. The roof 56 is fabricated from 70 percent alumina castable refractory. The material is poured into six roof sections. Each door 58 frame is fabricated from 70 percent alumina AR refractory.

The furnace 14 has two sets of tap out blocks (not shown). The first set is positioned on the bottom 52 of the furnace and serve as drain blocks. A second set of blocks is positioned sixteen inches from the floor of the furnace and serves as a transfer set of blocks. The transfer blocks are set on the outside of the furnace for ease of replacement. The inside of the furnace is formed and the blocks are set on the outside and layed in with a plastic ram.

There are two ramps (not shown) in the furnace, one at each of the main charge doors 58. The ramps are used for deslagging or skimming dross D from the molten metal and for allowing scrap aluminum to slide into the furnace. The ramps are composed of two materials. The base is a low grade aluminum resistant brick, stacked to form a ramp. The brick is covered with a castable refractory (about 18 inches thick), such as the 70AR material. The ramp extends from the edge of the sill into the furnace.

The wall 96 that separates the main furnace chamber 60 and the charge well 62 is about 22 inches thick and is formed from 70AR material. The wall 96 is cast as a single monolithic structure.

The furnace 14 can operate in several modes from empty to holding and maintaining molten aluminum. When the furnace 14 is at peak operation it is about 80 percent to 90 percent full. The molten metal is at about 1400° F. and the air temperature in the furnace is about 1800° F. The stack (exhaust) temperature is about 1000° F. Air temperature is measured by a thermocouple 98 in the upper side wall 54 of the furnace 14. Metal temperature is measured at the base of the circulating pump 70.

Scrap is charged or introduced to the furnace in the charge well 62 in increments of about 3,000 pounds. It will be understood that the size or weight of the introduced scrap will vary depending upon the size and capacity of the furnace 14.

Molten metal from the main chamber 60 is pumped onto the cool metal charge by the circulation pump 70. The molten metal transfers heat, by conductivity, to the cold metal charge. The charge metal rapidly heats and melts.

The primary mode of heat transfer to the charged aluminum is by conduction. The large heat sink provided by the full furnace enhances this effective method of heat transfer. When the furnace is 80 percent to 90 percent of capacity there is about 220,000 pounds of molten aluminum at about 1400° F. When scrap is charged into the furnace 14 the bath acts as a heat sink and provides the necessary energy for heat transfer to the charged metal. This is true regardless of the dimensions and capacity of the furnace, as adapted to the present oxy-fuel combustion system. The circulating pump 70 assists melt of the scrap by providing hot molten metal to the charge well 62 from the main furnace chamber 60. In addition, by circulating the molten metal, heat stratification throughout the furnace 14 is maintained low.

12

It has been found that by pumping or circulating the molten metal, the temperature differential between the top and the bottom of the furnace 14 (a height difference of about 42 inches) is only a few degrees Fahrenheit. Thus, the furnace 14 acts as a stable heat sink to provide a consistent heat source for conduction heat transfer to the charge metal.

Heat is input to the furnace 14 by the burners 84. It is believed that the principal mode of heat transfer to the furnace 14 is radiation, with some convective heat transfer.

Because of the high flame temperatures, the oxy fuel combustion system provides efficient radiative heat transfer. The geometry of the furnace 14 is further designed to increase the heat transfer rate by maximizing the metal surface area over which heat transfer from the flame to the metal occurs.

In addition, the refractory materials above the metal line are made of a high alumina content material. These materials reflect the heat from the burners back into the molten metal. This is in contrast to conventional furnace designs which, rather than reflecting heat back into the molten metal pool, permit much of the heat to escape from the furnace.

For example, traditional furnaces use refractories that have a lower alumina content and a higher insulation value on the upper side walls. The present design, on the other hand, uses higher alumina content refractories in order to reflect more of the radiative heat from the burners 84 to the bath area 60. Again, this is contrary to conventional furnace design. In traditional furnaces the lower side walls (defined as below metal line) use higher alumina refractories for strength. In contrast, the present design uses a lower alumina castable refractory, which is more advanced and has a higher insulating value. In a sense the present design goes completely against the traditional application of refractories.

Moreover, because there is no nitrogen fed to the furnace 14 (other than fuel-borne nitrogen) the volume of hot gases (e.g., exhaust) going through the furnace 14 is very low. Advantageously, this increases the residence time of the gases in the furnace 14 providing additional opportunity for heat transfer to the molten metal. Convective heat transfer, while relatively low, is more efficient than in conventional furnaces. In that the hot gases in the present furnace 14 approach 5000° F. and have a relatively long residence time, much of the heat is removed prior to exhaust.

A present furnace 14 operates at an energy input required to melt of about 1083 BTU per pound. The maximum heat input to the furnace 14 is about 40 million BTU (40 MMBTU) per hour, and typical heat input is about 10 to 12 MMBTU per hour. The heat input will, of course, depend upon the scrap being melted and the production requirements. The furnace is capable of melting up to 40,000 pounds per hour.

The Combustion System

The combustion system, indicated in FIG. 3, generally at 100, is a dual combustion train that operates on a fuel, such as natural gas, fuel oil, waste oil, coal (pulverized, dust and liquefied), and an oxygen source. The system is designed as two complete combustion systems to facilitate maintenance, as well as to conserve energy during low use periods. One oxygen train 102 and one exemplary natural gas fuel train 104 are shown in FIG. 3.

The combustion system 100 is controlled by a control system (illustrated in FIG. 11, indicated generally at 120) that includes a central processing unit ("CPU") 106 that monitors all data inputs from metal temperature, air temperature, fuel and oxygen flow, and provides an operator interface. Each combustion train can be operated individually or in tandem based on operating conditions and requirements.

13

The main process input variable used to control the combustion system 100 is the metal bath temperature as measured by a thermocouple 108. Alternative process input variables include signals from one of several air temperature sensors 98, 110. The control scheme includes inputs from thermocouples (type K) located in the furnace upper wall, exhaust stack and furnace roof, indicated generally as inputs 112. The primary thermocouple 108 is located in the molten metal bath are 60. The air thermocouples 112 are sheathed with alumina or like materials to protect the measuring element from the atmosphere. The bath thermocouple 108 is protected from molten metal by a ceramic sheath that is resistant to heat and to the corrosive conditions found in molten metal. The bath thermocouple 108 is configured to signal initiation of the burner system only when the metal bath temperature falls below a preset level.

The stack thermocouple or the roof thermocouple 116 is designed for over temperature protection. This thermocouple 116 is connected to an over-temperature circuit that shuts down the combustion trains 102, 104 to protect the refractory and furnace 14 structure in the event that an over temperature limit is reached.

The upper wall thermocouple 98 is primarily used to monitor the furnace 14 air temperature. It can also be used to operate the furnace 14 in the absence of the molten bath thermocouple 108. The upper wall thermocouple 112 is also used as the process input variable when metal is first being charged in the furnace 14 or when the level of molten metal drops below the molten bath thermocouple 108.

An operator has full control over individual temperature set points. A control panel 118 includes temperature indicators for all of the thermocouples 92, 108, 110, 112, 114, 116. The operator can adjust each thermocouple set point until operation limits are achieved. The operational set point limits can be internally set within the CPU so that any desired temperature range can be established.

The combustion system control system 120 is configured in two parts. The first part 122 includes hard wired safety devices, such as relays, limit switches and the like, as will be recognized by those skilled in the art. These include all gas pressure switches, shut off and blocking valves, and flame detectors. The second part 124 of the control system 120 is monitoring and automatic control functions carried out by the CPU 106.

The gas trains 104 are configured in pairs so that one train can be in service while the other is out of service for, for example, maintenance or low-load/use periods. Each gas train 104 is appropriately sized vis-à-vis oxygen flow requirements. Each gas train 104 commences at a ball-type shut off valve 130. Piping 132 routes the gas through a strainer 134 to remove any debris present in the line. A gas pilot line 136 extends from the piping 132 after the strainer 134.

A backpressure regulator 138 is used to lower the header pressure. Presently, the oxygen pressure is set at about 18 pounds per square inch (psig). A shut off valve 140 and safety valves 142 follow in line. A differential pressure flow meter 144 is located downstream of the safety valves 142. The flow meter 144 measures the temperature and differential pressure of the gas as it flows through an orifice 146. A present flow meter 144 is a Rosemount model 3095 differential pressure flow meter.

Through these measurements a flow rate is determined and a signal is transmitted to the control system 120. A control valve 148 is in line following the flow meter 144. In a present arrangement, a modulating control valve is used that receives an output signal from the control system 120.

14

The valve 148 transmits a signal to the control system 120, and specifically, the CPU 106, indicating the actual valve 148 position.

The gas train 104 then splits into two separate lines 104a,b each having a valve 150a,b. The valves 150a,b are used to balance each burner 84 so that the gas flow is evenly distributed.

The oxygen train 102 is similar to the gas train 104, except that the line sizes and components are larger to accommodate the larger flow rate of oxygen. An exemplary oxygen train 102 is illustrated in FIG. 3, in which those components corresponding to fuel train 104 components are indicated by 200 series number identifiers.

Referring to FIG. 10, the burners 84 are a fairly straight forward design. Each of the four burners 84 includes a main inlet nozzle body 152 that extends into the furnace 14. A fuel gas inlet 154 extends to the main inlet body 152 external of the furnace wall 34. Oxygen is input to the main inlet nozzle body 152 and mixes with the fuel gas. An igniter (not shown) extends through a central opening 156 in the main inlet body 152. The igniter provides a spark for ignition of the fuel/oxygen mixture.

Operation of the combustion system 100 is readily carried out by a combination of operated initiated action and automatic control by the CPU 106. Power is provided to the system controls which enables the CPU 106 and the hard-wired safeties portion 122 of the control system 120. The CPU 106 initiates communication with the control valves, thermocouples, and relays that are part of the hard-wired safeties portion 122. The gas and oxygen pressure switches are of a dual hi/low switch design. The low-pressure switch is a normally closed signal while the high-pressure side is a normally open signal. The CPU 106 determines whether a the proper signal is present and allows the program to continue. If an improper signal is recognized, audible and visual alarms are actuated. The control scheme also monitors whether the gas and oxygen control valves 148, 248 are in the "low-fire" position. If the control valves 148, 248 are in the proper position, a signal is transmitted that allows the control system 120 to continue the startup procedure. An over-temperature signal must also be clear to allow the system 120 to continue through the start up procedure.

When all of the startup conditions are met, a nitrogen purge cycle is initiated. Nitrogen is used to purge the furnace 14 of any combustible gases that may be remaining in the furnace 14. The nitrogen purge is timed so that the volume of nitrogen through the furnace 14 is about 2.5 times the volume of the furnace 14.

After the purge is complete, one or both of the combustion trains is started. A control switch places either a pair of burners or all of the burners 84 into operation. A flame controller opens the pilot solenoids. The pilot solenoids are normally closed, however, upon starting, the solenoids are opened and gas and oxygen flow through a pilot assembly.

At the tip of the pilot assembly the gases mix and are ignited by a spark emitted controlled by the flame controller. Upon ignition, a flame detector 126 detects the presence or absence of flame and transmits a signal to the control system 120. Once a flame is detected, the control system 120 opens the main blocking valves for both the gas and oxygen.

The main fuel and oxygen shut off valves 140, 240 operate independently. The safety valves 142, 242 are configured such that if the gas valve 140 does not open, the safety valves 142, 242 do not open. When the main gas valve 140 opens, the gas and oxygen safety valves open 142, 242. With all of the main valves open, a control relay is energized as well as an indicator light for each gas train on the control

88529
89
520

panel 118. A pilot timer remains energized for a preset time period, about 30 seconds. Once the preset time duration has elapsed, the pilot circuit is de-energized and the normally closed solenoid valves are de-energized, isolating the pilot assemblies and the pilot indicator light for each burner train.

The flame detectors 126 continuously monitor the flame. Upon loss of flame indication, an alarm signal is transmitted to the CPU 106 and the control circuit isolates the gas and oxygen shut off valves 140, 240 and blocking valves 142, 242.

Once the pilots are de-energized, furnace automatic operation is assumed by the control system 120. While the system 120 is set to "low fire", the oxygen control valves 248 are maintained in the closed position regardless of process and set point values. The gas control valves 148 are not limited in their range since gas flow follows oxygen flow. The control system 120 maintains the gas at the preset ratio.

When operating in the automatic mode, the control system 120 responds to deviations from the process and set point values. Furnace temperature is monitored and matched to the temperature set point. When the process temperature deviates from the set point temperature, an error signal is generated, and the control system 120 transmits a signal to the oxygen control valve 248. The gas control valve 148 is also controlled by the control system 120; the set point variable follows the (stoichiometrically correlated) flow rate of oxygen as established by the oxygen flow meter. The control system 120 is configured to limit the control valves 148, 248 that, in turn, limit the output power of the burners 84.

The combustion system 100, and specifically the control system 120 can be configured to meet any desired application for and in any industry that relies on carbon based fuels. For example, in the present scrap aluminum processing plant 10, there are three applications or uses of the oxygen fueled combustion system 100. The first is for melting aluminum in a high production environment (i.e., in the melting furnace 14). Second, the system 100 is present in the holding furnace 16 primarily for steady state temperature and alloy mixing of the molten aluminum. The last application is in a dross-melting furnace 166 in which high temperature burners are used to release the metal units (aluminum which can be recovered for production) from the dross D (melt byproduct) by thermal shock. In each use, the burners are installed for energy conservation and environmental reasons.

Applications of the present combustion system 100 vary by thermal output (measured in maximum MMBTU per hour), size and orientation of the burners 84, as well as the temperatures at which the furnaces 14, 16, 166 are designed to operate. Those skilled in the art will recognize that mechanical differences (e.g., line sizes and the like) are needed to accommodate these differing needs, and that the specific programming of the control system 120 and CPU 106 may vary.

The present combustion system 100 provides a number of advantages over known and presently used combustion systems. For example, it has been shown through operation that there is considerable energy savings using the present combustion system 100. The oxy-fuel burners 84 operate at a much higher temperature than conventional furnaces. Thus, there is an observed increase in the heat available for melt (in other industrial applications, this increased heat can be made available for, for example, steam generation, refuse incineration and the like). This provides a reduction in the amount of fuel required to operate the furnaces 14, 16, 166. In practice of the present invention, it has been observed that

the average (and estimated) thermal input required per pound of aluminum melted is decreased from about 3620 BTU per pound (in a conventional furnace) to about 1083 BTU per pound in the melting furnace 14. This is a decrease of about 70 percent. In addition, the fuel needed to maintain temperature in the holding furnace 16 has been shown to be about one-half of that of a conventional furnace.

It is believed that the fuel savings is attributed to three principal factors. First, the increased heat of the combustion system 100 permits complete burn of all fuel without excess oxygen. Second, being held to theory, it is believed that the combustion system 100 operates within a radiative (or radiant) heat transfer zone, with some heat transfer by conduction.

The system 100 is designed to take advantage of the radiant heat transfer within the furnaces 14, 16, 166 to transfer heat effectively to the metal baths. Third, because there is no nitrogen in the combustion process, the amount of gas flowing through the furnaces 14, 16, 166 is low. Thus, an increased residence time of the hot gases permits the release of a larger proportion of energy (in the form of heat) prior to exhaust from the furnaces 14, 16, 166.

Typical exhaust gas volume is fractional of that of conventional furnaces. In that there is about 80 percent less gases (essentially the nitrogen component of air) in an oxy-fueled furnace, combustion efficiency is greatly increased. In conventional furnaces, the nitrogen component of air absorbs much of the energy (again, in the form of heat) from the melt. In the present combustion system 100, oxygen (rather than air) and fuel are fed to the furnaces 14, 16, 166 and burned in a stoichiometric ratio. This is carried out without excess oxygen. Thus, there is no energy absorbed by non-combustion related materials e.g., excess oxygen or nitrogen).

The present combustion system 100 also provides for increased production. When installed as part of a melting furnace, the melting capacity or throughput of the furnace will be increased. This again is attributed to the rapid and effective heat transfer in the furnace 14. As new metal is introduced into the furnace 14, the combustion system 100 responds rapidly to provide heat to melt the fed metal and to maintain the heat (temperature) of the molten metal in the pool 60 at the set point temperature. It has been found that aluminum accepts heat very efficiently from a radiative heat source.

Perhaps most importantly, is the reduced environmental impact of the present combustion system 100, compared to presently known and used combustion systems. The present system 100 advantageously uses no nitrogen (from air) in the combustion process. Typically, NOx production occurs in a furnace as a reaction product of the heated air that is fed by the combustion system. However, in that the present system 100 uses oxygen, rather than air, any NOx produced by the present combustion system is due solely to the amount of elemental nitrogen that is in the fuel (i.e., fuel-borne nitrogen). In that fuel-borne nitrogen levels are extremely low (compared to that contributed by air in conventional furnaces), the NOx levels of the present combustion system are well below any industry standards and governmental limitations. In addition to reducing NOx production, the production of other green-house gases, such as carbon monoxide, is also greatly reduced.

In addition, to the reduced environmental impact, the present oxy fuel combustion system conserves energy because significantly more aluminum can be processed at considerably less fuel input (any carbon based fuel, including coal, coal dust, natural gas or oil). As a result of

580
90
581

processing with less fuel usage, conservation of fuel resources is achieved. Essentially, less fuel is used in the aggregate, as well as on a per pound basis to produce aluminum. This reduces processing (e.g., fuel) costs, as well as the taxing use of fossil fuels.

Oxygen Supply

As will be recognized by those skilled in the art, the oxygen requirements for the present combustion system 100 can be quite high. To this end, although oxygen can be purchased and delivered, and stored for use in the system, it is more desirable to have an oxygen production facility near or as part of an oxy fuel combustion system, such as the exemplary scrap aluminum processing plant.

Referring now to FIG. 4, there is shown a cryogenic plant 180 for use with the present combustion system 100. The illustrated, exemplary cryogenic plant 180 produces 105 tons per day of at least 95 percent purity oxygen and 60,000 standard cubic feet per hour of nitrogen having less than 0.1 part per million oxygen. The plant 180 includes a 1850 horsepower three-stage compressor 182. The compressed air, at 71 psig enters a purifier/expander 184. The air exits the expander 184 at a pressure of 6.9 psig and a temperature of -264°F ., and enters a cryogenic distillation column 186. In the column 186, air is separated (distilled) into gaseous nitrogen, liquid nitrogen, gaseous oxygen and liquid oxygen. The gaseous oxygen, indicated generally at 188, is fed directly to the combustion system 100 and the liquid oxygen, indicated generally at 190, is stored for example in tanks 191, for later use for in the combustion system 100. The oxygen pressure from the cryogenic plant 180 may be lower than that required for the combustion system 100. As such, an oxygen blower 192 is positioned between the oxygen discharge from the column 186 and the combustion system 100 feed to raise the pressure to that need for the combustion system 100.

The gaseous nitrogen, indicated generally at 194, is fed to a downstream annealing/stress relieving system (not shown) within the plant 10. These systems, which use nitrogen to treat aluminum to relieve stresses in the metal and to anneal the metal, will be recognized by those skilled in the art. In addition, the nitrogen 194 is used in the degassing units 24. The plant 10 also includes a back up supply of oxygen and nitrogen 191, 196, respectively, in liquid form in the event of, for example, maintenance or other situations in which the cryogenic plant 180 cannot supply the plant requirements. The back-up systems 191, 196 are configured to automatically supply oxygen and/or nitrogen as required, such as when the cryogenic plant 180 is off-line. Excess nitrogen can be stored, bottled and sold. Systems such as these are commercially available from various manufacturers, such as Praxair, Inc. of Danbury, Conn.

Heat Recovery

The aluminum processing system 10 also takes advantage of waste heat from the various processes. Specifically, the processing plant 10 can include a waste heat recovery system, indicated generally at 200 in FIG. 4. Exhaust gas, indicated at 202, from the melting furnace 14 and the holding furnace 16 is directed to one side of a waste heat recovery heat exchanger 204. In that the exhaust gas 202 is at a temperature of about 1000°F ., there is a considerable amount of energy that can be recovered. In addition, energy can be recovered from the exhaust above the main furnace bath area 60.

The exhaust gas 202 is directed to the waste heat exchanger 204. A working fluid, indicated at 206, such as pentane, flows through the other side of the heat exchanger 204 under pressure. It is anticipated that a plate-type heat

exchanger or a plate-and-tube type heat exchanger is best suited for this application. Those skilled in the art will recognize the various types of working fluids that can be used for the present waste heat recovery system, as well as the heat exchange systems that are used with these types of working fluids. All such systems are within the scope and spirit of the present invention.

The heated fluid 206 is then directed to a vaporizer 208 where the fluid 206 is allowed to expand into vapor. The vapor 206 is directed to a turbine-generator set 210 to produce electricity. The vapor is then condensed, in a condenser 212, and returned to the heat exchanger 204. It is anticipated that sufficient energy to produce about 1.5 to 2.0 megawatts of power in the form of electricity can be recovered from the exhaust gas 202 from the above-described scrap processing plant 10.

Although a wide variety of working fluids 206 can be employed for use in such a waste heat or waste energy recovery system 200, in a presently contemplated system, pentane is used as the working fluid 206. Such an organic based system provides a number of advantages over, for example, steam-based systems. It is anticipated that a pentane-based working fluid 206, in a standard Rankine-cycle arrangement will allow for variations in vapor supply more readily than a steam-based system. In that the heat output from the furnaces (melting 14 and holding 16) is dependent upon metal production, rather than electrical needs, the energy input to the recovery system 200 is likely to vary and will be the controlling characteristic for power production. As such, a fluid 206 such as pentane provides the greater flexibility that is required for such a recovery system 200.

As will be recognized by those skilled in the art, the electrical power generated can be used to provide some of the power necessary for the scrap processing plant 10, including the cryogenic plant 180. Power for operating the plant 10 can be provided by an oxy fueled combustion system employed in an electric power generating plant (using a furnace or boiler), to generate steam for a steam turbine-generator set. In such an arrangement, when the power generated exceeds plant 10 requirements, the excess power can be sold to, for example, a local electric utility.

Dross Processing

Referring now to FIG. 2, the contaminants or dross D from the melting furnace 14 is further processed, separate and apart from the in-line aluminum recovery in a dross recovery process, indicated generally at 164. The dross D is removed, as by skimming, from the top of the molten aluminum pool 60 in the melting furnace 14. The dross D is pressed in a sieve-like bowl 168 by mechanical means. Pressing pushes the aluminum A from the dross D, through openings 170 in the bowl 168. The aluminum A that is pressed from the dross D is recovered and is returned to the melting furnace 14.

The oxide laden dross is fed into the recovery furnace 166 for reheating. The recovery furnace 166 is of a similar design to the melting furnace 14 in that it uses an oxy-fuel combustion system 100 design. In operation, however, the recovery furnace 166 "shocks" the dross laden material by using near direct flame impingement of about 5000°F . to release the aluminum metal from the dross D. The molten bath 172 temperature in the recovery furnace 166 is also considerably higher, about 1450°F .- 1500°F ., with a furnace air temperature of about 2000°F .- 2200°F . In addition, the "shocking" process is carried out in a highly reduced atmosphere with substantially no excess oxygen within the furnace 166 (in contrast to conventional furnaces that operate at excess oxygen levels of about 3 to 5 percent).

9T581
582

The recovery furnace 166 is likewise skimmed and the resulting dross is pressed. The recovered aluminum A is transferred to the melting furnace 14. The remaining dross D2 is then sent for processing off-site, to a dross processor, for further aluminum recovery. It has been found that the present process, including the dross recovery process, provides a significant increase in the recovery of metal. The dross D2 that is ultimately shipped for further processing is only a fraction of the original quantity of dross D, thus reducing processing costs and increasing aluminum recovery.

Importantly, the present dross recovery process 164 is carried out without the use of salts or any other additives. Rather, thermal shocking is used to release the metal from the oxides. Known recovery processes use salts to separate the oxides from the metal. In that the salts remain in the oxides, which are in turn disposed of, ultimately, the salts are likewise sent for disposal. These salts can be environmental hazards and/or toxic. As such, the present process 164 is environmentally beneficial in that it eliminates the need for these salts and thus their disposal.

As to the overall processing scheme 164, again, it has been found that the present recovery steps (e.g., double pressing with intermediate reheating) result in aluminum recovery rates that are significantly improved over those of known processes, depending upon the grade of the scrap. Multi-percent increases in the amount of metal recovered from the dross D have been achieved.

Other Applications for the Combustion System

As discussed above, it is apparent that increased efficiencies from the use of oxygen in all continuous processes can be achieved. For example, power generating plants can increase flame temperature or reduce LOI in boilers by introducing oxygen to the burning formula (rather than air). This can increase efficiencies in operation. Essentially, burning of any carbon based fuels can be enhanced by the introduction of oxygen. The benefits are both economical and environmental. To date no industry other than glass-making has embraced oxy fuel technology. In the glass making industry this technology is used not for the efficiencies that result, but because of the high melting temperature required for the glass production process.

Nevertheless, use of oxy-fueled combustion systems in all industrial and power generating applications can provide reduced fuel consumption with equivalent power output or heat generation. Reduced fuel consumption, along with efficient use of the fuel (i.e., efficient combustion) provides greatly reduced, and substantially zero, NOx emissions and significant reductions in the emission of other green-house gases.

Due to the variety of industrial fuels that can be used, such as coal, natural gas, various oils (heating and waste oil), wood and other recycled wastes, along with the various methods, current and proposed, to generate oxygen, those skilled in the art will recognize the enormous potential, vis-à-vis industrial applicability, of the present combustion system. Fuel selection can be made based upon availability, economic factors and environmental concerns. Thus, no one fuel is specified; rather a myriad, and in fact, all carbon based fuels are compatible with the present system. In addition, there are many acceptable technologies for producing oxygen at high purity levels. Such technologies include cryogenics, membrane systems, absorption units, hydrolysis and the like. All such fuel uses and oxygen supplies are within the scope of the present invention. Those skilled in the art will recognize that the other gases produced, such as hydrogen and nitrogen, can be stored, bottled and sold.

As discussed in detail above, one application for the present combustion is scrap aluminum processing or recovery. Other exemplary applications, as will be discussed below, include industrial power generation boilers and incinerators. These exemplary applications focus on the flexibility and applicability of this technology for broad industrial uses.

In general, the use of oxygen fuel fired combustion over current or traditional air fuel systems offers significant advantages in many areas. First is the ability to run at precise stoichiometric levels without the hindrance of nitrogen in the combustion envelope. This allows for greater efficiency of the fuel usage, while greatly reducing the NOx levels in the burn application. Significantly, less fuel is required to achieve the same levels of energy output, which in turn, reduces the overall operating costs. In using less fuel to render the same power output, a natural reduction in emissions results. Fuel savings and less emissions are but only two of the benefits provided by the present system.

Steam generators for the production of electricity, e.g., by industrial power boilers, are varied but are nevertheless fundamentally dependent upon their combustion systems to produce steam to turn a turbine-generator set. The fuels used vary based upon the design of the steam generators. However, all of the boilers require an oxidizing agent. Using the present oxy fuel combustion system, high purity oxygen is used as the sole oxidizing agent throughout the boiler or is used as a supplement to air providing the oxygen for combustion.

The benefits that can be enjoyed by other industrial applications hold true for the power industry. For example, the use of oxygen within the combustion zone enhances flame temperature while effectively cutting LOI (loss on ignition) by providing readily available oxygen for combustion. By increasing flame temperatures, greater rates of steam generation can be accomplished with the same fuel burn rate. Conversely, equal power generation or output can be recognized with lower fuel burn rates. Flame temperature will be dependent upon the concentration of the oxygen provided for combustion. To this end, with no oxygen supplementation or enrichment (i.e., pure air for combustion), flame temperatures will be about 3000° F. Referring to the above discussion, with pure oxygen as the oxidizing agent, the flame temperature will be about 4500° F. to about 5000° F. The anticipated flame temperatures for varying degrees of oxygen supplementation can be interpolated (it is believed linearly) between these temperatures.

Oxygen can also be used in conjunction with over-fired air systems or low NOx burners to reduce NOx and other green-house gases while ensuring stable flame at stoichiometry. Typical low NOx burners often increase LOI. This requires operators to burn more fuel. By adding enriched oxygen to the combustion process complete burn becomes available for fuel while at stoichiometry without additional nitrogen present (by additional air input) to create NOx.

It is anticipated that boilers will be designed around oxygen fueled combustion systems to take full advantage of the benefits of these systems. It is also anticipated that retrofits or modifications to existing equipment will also provide many of these benefits both to the operator (e.g., utility) and to the environment.

For example, FIG. 12 illustrates, schematically, a coal fired boiler or furnace 300. A wind box 302 is formed at a wall 304 of the furnace 300. A burner 306, through which the coal is introduced into the furnace 300, extends through the wind box 302. The coal is carried to the furnace 300 by a coal conduit 308. Primary air (as indicated at 310) is

92-582
583

supplied to carry the coal (from a pulverizer, not shown) through the conduit 308 and burner 306 into the furnace 300. Tertiary air (as indicated at 312) is provided to the coal conduit 308 to assure that the coal is conveyed to the burner 306.

Secondary air (as indicated at 314) is provided from the wind box 302 directly into the furnace 300 through registers 316 on the furnace wall 304. The secondary 314 air is the primary source of air for the combustion process. In one well recognized and known system for controlling NO_x, an over-fired air system (as indicated at 318) injects air (from the wind box 302), into the furnace 300 over the flame F. The underlying purposes for the over-fired air are two-fold. First is to provide sufficient oxygen to assure complete combustion of the fuel. Second is to reduce the flame temperature and thereby reduce the production of NO_x.

It is anticipated that the present combustion system can replace existing combustion systems, in total, or, in the alternative, can be used to provide an oxygen supplement to the air used for combustion. Specifically, it is anticipated that high purity oxygen can be used in place of any or all of the primary 310, secondary 314 and tertiary air 312 that is used in these known combustion systems. Those skilled in the art will recognize the benefits that can be obtained using the present oxy-fuel combustion system (or as in certain applications oxygen supplementation system) in power boilers or furnaces that use other fossil fuels, such as oil or gas.

Use of the present combustion system is also contemplated for use in connection with industrial waste incinerators. Typical waste incinerators operate on the basis of resonant time, temperature and excess oxygen. An oxy-fuel system will allow for greater efficiency in the operation.

Resonant time is dependent upon the physical size of the heated chamber or stack, and the velocity and volume of gases passing through the chamber or stack. As nitrogen is taken out of the mix the resonant time naturally increases because the volume of gas used in the combustion process is less (by about 80 percent). When an incinerator is specifically designed with an oxy-fuel combustion system, the incinerator requires considerably less capital cost because of the reduced size that is required.

Typical flame temperatures of oxy-fueled combustion systems are much higher than air fueled systems. Thus, the efficiency of the burn ultimately requires less thermal input from the fuel, resulting in less operating costs. One of the benefits of the oxy-fuel combustion system is the control over excess oxygen levels that is achieved. In the case of conventional incinerators, excess oxygen is required to burn the volatile organic carbons (VOCs) and unburned carbon. This excess oxygen is provided by injecting air into the chamber or stack where the oxygen (from the air) is used to complete the burn of VOCs and unburned carbon. Although air provides the necessary excess oxygen, it also permits nitrogen into the chamber. The excess nitrogen that is introduced (to provide the excess oxygen) results in increased production of NO_x. Additionally, the excess air, overall, results in the generation of other green-house gases, and further acts to cool the chamber. This undesirable cooling then requires additional heat from the combustion system to overcome this cooling effect.

FIG. 13 illustrates, schematically, a typical industrial furnace 400. Waste (as indicated at 402) is introduced into a stack 404. A burner 406 is fed with air (as indicated at 408) and fuel (as indicated at 410) to produce a flame F to incinerate the waste 402. A carbon monoxide (CO) monitor 412 is located above the flame F to determine the level of CO in the exhaust gas. When the level of CO is too high,

additional air is fed to the burner 406. Optionally, air can be fed into the stack from a location 414 apart from the burner 406 to provide the additional air.

There are a number of drawbacks to this method of operation. As discussed above, the two controlling factors in waste incineration are time and temperature. That is, higher temperatures and greater resonant times increase the incineration of the waste. However, the addition of air (to reduce CO levels) increases the flow rate through the stack 404 thus reducing the resonant time. In addition, although the increased air flow reduces flame temperatures (which in turn reduces NO_x production), it also introduces high levels of nitrogen, which tends to increase NO_x production and offset the cooling (and reduced NO_x production) effect. Moreover, because of the cooling effect of the air, the efficiency of the incineration process is reduced.

The present oxy-fuel combustion system, on the other hand, uses high purity oxygen which permits burning the unburned material without the production of NO_x and other green-house gases and without cooling effects. The present oxy-fuel system thus affords several advantages over conventional or traditional incinerator systems. In that the primary duty of an incinerator is to burn VOCs and other contaminants before they reach the atmosphere, the present combustion system reduces the fuel used and thus results in reduced production of NO_x and other green-house gases, and a reduced volume of flue gases generally.

In addition, the installation (e.g., capital) and operating costs of incinerators employing oxygen fueled combustion systems will be greatly reduced. The capital cost of the incinerator will be reduced because the volume of gases through the system is expected to be much lower. As provided above, because the throughput of gas is much less, the overall size of the incinerator can be considerably less than conventional systems while maintaining the same resonant time. Thus, the incinerator can be physically smaller to handle the same waste load, and the required support systems and ancillary equipment and systems can likewise be smaller.

In addition, oxy-fueled combustion systems are generally considerably more efficient than conventional incinerator systems and require a fractional amount of the required energy input. The system also lends itself quite well to incinerator applications in which the fuel is unburned carbon or VOCs. Likewise since there is no nitrogen present in the flame envelope the development of NO_x is kept to a minimum, relegated to NO_x formed from fuel-borne nitrogen only.

The industries described above are only a few exemplary industries that can benefit from the use of the present oxy-fuel combustion system. Those skilled in the art will recognize the applicability of this system in the chemical and petrochemical industries, the power generation industry, plastics industries, the transportation industry and the like. Oxy Fuel Combustion—The Benefits and Advantages

The benefits and advantages of oxy-fuel combustion will be appreciated by those skilled in the art. Nevertheless, in an exemplary aluminum scrap processing facility, using an air-fired furnace outfitted for natural gas, it was found that the energy required to process or melt one pound of scrap aluminum (as determined by the cubic feet of natural gas used), was 3,620 BTUs (presented as 3,620 BTUs/lb). That is, about 3.45 standard cubic feet (SCF) of natural gas was needed to melt each pound of aluminum. The energy requirement of 3,620 BTU is based upon each SCF of natural gas having a heat content of 1,050 BTUs.

In contrast, using the present oxy-fueled combustion system, it was found that only 1.03 SCF of natural gas (or

93583
584

584
94
885

1083 BTUs) was needed to melt each pound of aluminum. Thus, the present oxy fuel combustion system used 1083 BTU/3620 BTU or 29.9 percent of the fuel required for an air-fired furnace. This is a reduction of 1.0 less 0.299 or about 70 percent in the fuel consumption.

Similar though not quite as drastic reductions in fuel consumption have been observed with an oxy fueled combustion system that uses waste oil as a fuel. It was found that the heat content of the waste oil fuel need to melt each pound of aluminum was 1218 BTUs. Thus, the reduction observed with waste oil was 1218/3620 or 33.6 percent, resulting in a reduction in fuel consumed of about 66 percent. As such, even before considering the reduction in pollutants produced, the present oxy fuel combustion system exhibited reductions in fuel consumption of about 70 percent and 66 percent using natural gas and waste oil, respectively, over an air-fired, natural gas fired furnace.

Table 1, below illustrates a comparison of the pollutants produced using an air-fired (gas fueled, shown as "AIR-GAS") combustion system, an oxy fueled (gas, shown as "OXY-GAS") combustion system and an oxy fueled (waste oil, shown as "OXY-OIL") combustion system. The pollutants shown are carbon monoxide (CO), gaseous nitrogen compounds (NOx), particulate matter under 10 microns in size (PM10), total particulate matter (PT), sulfur containing gaseous compounds (SOx) and volatile organic carbon compounds (VOC).

The data is shown in two forms, tons per year produced (TPY) and pounds produced per million BTUs used (lbs/MMBTU). The parentheticals following the OXY-GAS and OXY-OIL data represent pollutant reductions over those of the air-fired, gas fueled combustion system.

TABLE 1

FLUE GAS ANALYSIS FOR AIR-GAS, OXY-GAS AND OXY-OIL COMBUSTION SYSTEMS						
Pollutant	AIR-GAS		OXY-GAS		OXY-OIL	
	TPY	lbs/MMBTU	TPY	lbs/MMBTU	TPY	lbs/MMBTU
CO	4.88	2.0E-2	1.51	6.0E-3 (68.9)	1.32	5.0E-3 (73.0)
NOx	24.38	1.E-1	0	0 (100.0)	10.04	0.041 (98.4)
PM10	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.146	6.0E-4 (-430)
PT	.028	1.0E-4	.0023	9.4E-6 (92)	0.169	6.9E-4 (-480)
SOx	0.146	6.0E-4	4.5E-2	1.9E-4 (69)	1.39	5.7E-3 (-948)
VOC	0.582	2.4E-3	4.0E-1	1.6E-3 (31)	3.33	1.4E-2 (-471)

The values for PM10, PT, SOx and VOC for the oxy fueled waste oil combustion system show increases (as negative reductions). This is due in part to no "post-burn" treatment processes used in the exemplary combustion system. It is anticipated that proper "post-burn" processes would include bag houses (for particulate matter) and scrubbers (for sulfur-containing gases) and would result in reductions of at least about 98.99 percent and 95 percent, respectively, in emissions quantities. The values attained in TABLE 1 were based upon the reduction in fuel consumption observed and were determined in accordance with accepted United States Environmental Protection Agency (USEPA) criteria, as determined from USEPA tables AP-42 (available from the USEPA website).

It must be noted that the above values are based upon controlling the environment within the furnace in which the oxy fueled combustion system is used. That is, the values shown above that indicate reductions in pollutants for the OXY-GAS and OXY-OIL combustion systems require that

the furnace in which the combustion systems are installed is designed to limit to negligible air in-leakage (i.e., nitrogen in the combustion atmosphere).

Thus, as will be appreciated by those skilled in the art, the use of high purity oxygen (or highly oxygen-enriched air) and any carbon based fuel is highly adaptive to many existing industrial systems. It is anticipated that the uses for such a system in standard and conventional industrial applications will provide myriad advantages and benefits over known, presently used air fired and air over-fired systems. Although many present physical plants may require redesign and modification to incorporate the present oxy-fueled combustion systems to enhance performance and production, it is contemplated that the benefits gained by making these changes in design and structure, such as lowered operating costs, e.g., reduced fuel costs, lowered capital costs and reduced emissions, will far outweigh the costs to make these changes.

In the present disclosure, the words "a" or "an" are to be taken to include both the singular and the plural. Conversely, any reference to plural items shall, where appropriate, include the singular.

From the foregoing it will be observed that numerous modification and variations can be effectuated without departing from the true spirit and scope of the novel concepts of the present invention. It is to be understood that no limitation with respect to the specific embodiments illustrated is intended or should be inferred. The disclosure is intended to cover by the appended claims all such modifications as fall within the scope of the claims.

What is claimed is:

1. A combustion method comprising the steps of:

- providing a furnace having at least one burner, and configured to substantially prevent the introduction of air;
 - supplying oxygen having a purity of at least about 85 percent;
 - supplying a carbon based fuel;
 - feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in a stoichiometric proportion to one another;
 - limiting an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and
 - controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of about 4500° F., and to produce an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.
2. The combustion method in accordance with claim 1 including the steps of establishing an oxygen feed rate and

supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

3. The combustion method in accordance with claim 1 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

4. The combustion method in accordance with claim 1 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling at least one of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain one or more temperatures in the furnace at or below the one or more desired temperatures.

5. The combustion method in accordance with claim 4 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

6. A combustion method comprising the steps of:

providing a furnace having a controlled environment, the furnace having substantially no in-leakage from an external environment, and configured to substantially prevent the introduction of air;

supplying oxygen having a predetermined purity;

supplying a carbon based fuel;

feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in a stoichiometric proportion to one another;

limiting an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and

controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of about 4500° F., and to produce an exhaust gas stream from the furnace having substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent.

7. The combustion method in accordance with claim 6 including the steps of establishing an oxygen feed rate and supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

8. The combustion method in accordance with claim 6 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

9. The combustion method in accordance with claim 6 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling at least one of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain the one or more temperatures in the furnace at or below one or more desired temperatures.

10. The combustion method in accordance with claim 9 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

11. A method for operating a furnace comprising the steps of:

providing a furnace having a combustion region and having a burner, the furnace configured to substantially prevent the introduction of air;

supplying a carbon based fuel into the combustion region through the burner;

supplying oxygen at a predetermined purity into the furnace for combustion with the carbon based fuel; and

controlling the combustion of the oxygen and the carbon based fuel to produce a flame temperature of more than about 3000° F. and to produce an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

12. The combustion method in accordance with claim 11 including the steps of establishing an oxygen feed rate and supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain a stoichiometric proportion.

13. The combustion method in accordance with claim 11 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain a stoichiometric proportion.

14. The combustion method in accordance with claim 11 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling one or more of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain the one or more temperature in the furnace at or below one or more desired temperatures.

15. The combustion method in accordance with claim 14 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

16. A combustion method comprising the steps of: providing a furnace having at least one burner, and configured to substantially prevent the introduction of air;

supplying oxygen at a predetermined purity greater than 21 percent;

supplying a carbon based fuel;

feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in controlled proportion to each other; and

controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of 3000° F.

17. The combustion method in accordance with claim 16 including the steps of establishing an oxygen feed rate and supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain the controlled proportion.

18. The combustion method in accordance with claim 16 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain the controlled proportion.

19. The combustion method in accordance with claim 16 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling one or more of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain the one or more temperature in the furnace at or below one or more desired temperatures.

20. The combustion method in accordance with claim 19 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

* * * * *

585
9.5
586

25

supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

3. The combustion method in accordance with claim 1 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

4. The combustion method in accordance with claim 1 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling at least one of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain one or more temperatures in the furnace at or below the one or more desired temperatures.

5. The combustion method in accordance with claim 4 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

6. A combustion method comprising the steps of:

providing a furnace having a controlled environment, the furnace having substantially no in-leakage from an external environment, and configured to substantially prevent the introduction of air;

supplying oxygen having a predetermined purity;

supplying a carbon based fuel;

feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in a stoichiometric proportion to one another;

limiting an excess of either the oxygen or the carbon based fuel to less than 5 percent over the stoichiometric proportion; and

controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of about 4500° F., and to produce an exhaust gas stream from the furnace having substantially zero nitrogen-containing combustion produced gaseous compounds from the oxidizing agent.

7. The combustion method in accordance with claim 6 including the steps of establishing an oxygen feed rate and supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

8. The combustion method in accordance with claim 6 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain the stoichiometric proportion.

9. The combustion method in accordance with claim 6 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling at least one of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain the one or more temperatures in the furnace at or below one or more desired temperatures.

10. The combustion method in accordance with claim 9 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

11. A method for operating a furnace comprising the steps of:

providing a furnace having a combustion region and having a burner, the furnace configured to substantially prevent the introduction of air;

26

supplying a carbon based fuel into the combustion region through the burner;

supplying oxygen at a predetermined purity into the furnace for combustion with the carbon based fuel; and controlling the combustion of the oxygen and the carbon based fuel to produce a flame temperature of more than about 3000° F. and to produce an exhaust gas stream from the furnace having a temperature of not more than about 1100° F.

12. The combustion method in accordance with claim 11 including the steps of establishing an oxygen feed rate and supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain a stoichiometric proportion.

13. The combustion method in accordance with claim 11 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain a stoichiometric proportion.

14. The combustion method in accordance with claim 11 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling one or more of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain the one or more temperature in the furnace at or below one or desired temperatures.

15. The combustion method in accordance with claim 14 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

16. A combustion method comprising the steps of:

providing a furnace having at least one burner, and configured to substantially prevent the introduction of air;

supplying oxygen at a predetermined purity greater than 21 percent;

supplying a carbon based fuel;

feeding the oxygen and the carbon based fuel into the furnace in controlled proportion to each other; and controlling the combustion of the carbon based fuel to produce a flame temperature in excess of 3000° F.

17. The combustion method in accordance with claim 16 including the steps of establishing an oxygen feed rate and supplying the carbon based fuel into the furnace at a rate that is dependent upon the oxygen feed rate to maintain the controlled proportion.

18. The combustion method in accordance with claim 16 including the steps of establishing a carbon based fuel feed rate and feeding the oxygen into the furnace at a rate that is dependent upon the carbon based fuel feed rate to maintain the controlled proportion.

19. The combustion method in accordance with claim 16 including the steps of establishing one or more desired temperatures within the furnace and controlling one or more of the fuel supply and the oxygen supply so as to maintain the one or more temperature in the furnace at or below one or more desired temperatures.

20. The combustion method in accordance with claim 19 wherein the one or more desired temperatures are based, in part, upon the heat transfer as affected by a geometry of the furnace.

* * * * *

96586
207



587-588

Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA

Delegatura de Propiedad Industrial
División de Nuevas Creaciones

SOLICITUD
PATENTE DE INVENCION

21. EXPEDIENTE No. 03.094.940
54. TÍTULO Metodo de oxigeno - COMBUSTIBLE
PARA COMBUSTION
51. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL C22B 8/00
71. SOLICITANTE JUPITER OXYGEN CORPORATION
DOMICILIO Schiller Park, IL, USA.
74. APODERADO Fernando Perez Cebalero
22. BOGOTÁ, D. C., _____

**SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES**

2020
Bogotá, D. C., 8 de Mayo de 2007

Doctor
FERNANDO PÉREZ CABALLERO
Representante **JUPITER OXIGEN CORPORATION**

ASUNTO	Radicación No.	03-04940
	Trámite	002
	Evento	001
	Actuación	430
	Oficio	6116
	Folios	003

Como resultado del examen de fondo, realizado con fundamento en el artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, se le comunica

1) Documentos estudiados:

- a) Para el presente estudio se tendrán en cuenta el capítulo descriptivo, comprendido en los folios 4 a 56 de la solicitud en estudio.
- b) Para el presente estudio se tendrán en cuenta los dibujos comprendidos en los folios 72 a 76 de la solicitud en estudio.
- c) Para el presente estudio se tendrá en cuenta el capítulo reivindicatorio que comprende 69 reivindicaciones en los folios 57 a 71 de la solicitud en estudio.
- d) Conforme lo establece los artículos 9, 10 y 11 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, la presente solicitud en estudio fue presentada el 24 de octubre de 2003, y en el momento de la radicación se presentó como solicitud PCT FASE NACIONAL y donde SI se reclamó prioridad de la primera solicitud presentada en Estados Unidos US 09/843679

2) Acerca de la petición de dividir la solicitud:

No se acepta la petición de división de la solicitud inicial en cuatro solicitudes toda vez que

- a) Los errores que se plantearon en el anterior concepto técnico, se mantienen en las nuevas solicitudes no aceptadas presentadas por el solicitante. En cada uno de esos documentos nuevos, existen también múltiples reivindicaciones independientes con materia diferente, y en lugar de corregir las deficiencias, se ahondaron los problemas en los documentos nuevos. Por tanto, es improcedente aceptar unos documentos que en lugar de arreglar los problemas, los profundiza. Cada uno de los documentos no posee unidad de invención.
- b) El solicitante no anexó las tasas que corresponde al trámite de cada solicitud divisional.

3) Objeto de la invención

- a) Las reivindicaciones 1 a 69 de la solicitud en estudio se refieren a varios sistemas de combustión oxígeno combustible, hornos, métodos de combustión, métodos de recuperación de aluminio, hornos para recuperar aluminio, Incinerador de desechos, métodos para incinerar desechos y otros más.
- b) Todo lo relacionado antes busca nuevas formas de hornos de combustión y su uso
- c) Según la Clasificación Internacional de Patentes, la codificación para esta solicitud corresponde a C 21 B 9/12

4) Evaluación de la Unidad de invención

La presente solicitud carece de unidad de invención toda vez que configura **POR LO MENOS TRECE (13)** diferentes objetos. La materia que caracteriza a cada una de las reivindicaciones independientes es muy diferente entre sí. Esto permite afirmar que no se trata del mismo objeto. Todo el problema radica en configurar varias reivindicaciones independientes con materia diferente. El solicitante debe establecer una sola reivindicación independiente dirigida al objeto en la forma más simple de la solicitud de invención. Partiendo de allí establecer reivindicaciones dependientes que amplíen esa forma más simple hasta su forma más compleja. Por el número tan diferente de objetos que hay, es imposible realizar un estudio de patentabilidad.

De acuerdo a lo anterior, la presente solicitud no cumple con el requisito de unidad de invención de acuerdo al Art. 25 de la Decisión 486. De continuar con el impedimento, esta oficina procederá a estudiar solo el primer grupo de invenciones que conformen un único concepto inventivo.

5) Determinación del Estado de la Técnica y Evaluación de los requisitos de patentabilidad

Cuando el solicitante haya corregido el capítulo reivindicatorio y lo haya orientado de forma tal que sea claro lo que quiere le sea protegido, en ese momento esta oficina podrá elaborar una determinación correcta del estado de la técnica y una evaluación correcta de los requisitos de patentabilidad

597 590

6) Notificación

En cumplimiento del artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, se le indica que dentro del término de sesenta días contados a partir de la fecha de la notificación de la presente comunicación debe responder a la notificación.

En caso de no dar respuesta al presente requerimiento, o si a pesar de la respuesta subsistieran los impedimentos para la concesión, se denegará la patente. Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto por el numeral 5.2, literal e) del capítulo quinto del título primero de la Circular Única N° 10 de 2001


ALIX CARMENZA CÉSPEDES DE VERGEL
Jefe División de Nuevas Creaciones

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en la lista, de fecha

18 MAYO 2007

Concepto Técnico N°	EXAMINADOR TÉCNICO Código No.	EXAMINADOR JURIDICO Código No.
709	202003	

Radicación No. **03-04940**