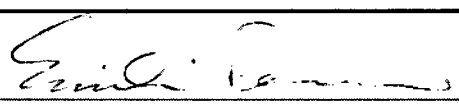




No. 07-020786- -00005-0000

Fecha: 2008-12-24 16:16:06 Dep. 2020 NUECREACIONE
Tra. 11 PATENTEIYII Eve. 378 FASENACIONALI
Act. 329 CTOINFORMACION Folios. 37

FORMULARIO UNICO DE CORRECCIONES Y MODIFICACIONES

1	SOLICITUD DE: ☐ Corrección de Error Material ☒ Modificación a una solicitud	
2	SOLICITANTE Nombre: MICROCOAL INC. Sociedad constituida y existente bajo las leyes del Estado de Delaware, Estados Unidos de América. Dirección: Suite 214, 5301 Limestone Road, City of Wilmington, Newcastle, Delaware 19808, Estados Unidos de América Domicilio: Newcastle, Delaware, Estados Unidos de América Teléfono: 546 09 70 Fax: 249 40 70 E-mail: clientes@camyp.com	IDENTIFICACION C.C. ☐ NIT ☐ C.E. ☐ Otro ☐ Número: _____
3	REPRESENTANTE O APODERADO Nombre: Emilio FERRERO Dirección: Carrera 4ª No. 72-35 Teléfono: 347 36 11 Fax: 217 92 11 E-mail: cavelier@cavelier.com	IDENTIFICACION C.C. ☒ NIT ☐ C.E. ☐ Otro ☐ Número: <u>438.019</u> TP <u>31.929</u>
4	Número de expediente: <u>07.020.786</u>	
5	Descripción de la corrección o modificación solicitada: Presento nuevos capítulos descriptivo y reivindicatorio compuesto por 35 reivindicaciones y solicito respetuosamente a Su Despacho tenerlas en cuenta para continuar con el trámite de la presente solicitud de Patente .	
6	Comprobante de pago No. <u>08-96,963</u> Fecha: <u>15 de diciembre de 2008</u>	
7	Anexos ☒ Comprobante de pago de la tasa por \$103.000, por concepto de modificaciones. ☐ Poderes, si fuere el caso ☐ Documento que acredita la existencia y representación legal de las partes, cuando sean personas jurídicas.	
8	NOMBRE: EMILIO FERRERO FIRMA:  C.C. 438.019 de Usaquén T.P.A. 31.929	

CONTROL DE ENERGIA EN UNA PLANTA DE GENERACION DE ENERGIA

CAMPO DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a métodos de control de energía en instalaciones que queman combustible fósil sólido.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las instalaciones que producen energía luchan con la demanda no uniforme de electricidad durante cada ciclo diariamente. Durante el período de un día, la demanda a cambio en una base por hora, con períodos de demanda pico típicamente en la mañana y tarde y baja demanda durante la noche. La separación entre los niveles de alta demanda y baja demanda puede alcanzar sobre 30% del nivel de demanda de luz. Puesto que la electricidad es un producto que no se puede almacenar en su forma bruta, una gran cantidad de una capacidad de generación de la instalación no es utilizada eficientemente. Además, las frecuentes fluctuaciones grandes de niveles de generación son costosas en términos de costos de operación y desgaste mecánico, particularmente en plantas de energía que queman combustible fósil sólido tal como carbón.

Las instalaciones de energía eléctrica que queman combustible fósil están operando un proceso que convierte el calor contenido en el combustible a vapor, el cual luego impulsa una turbina que genera electricidad. Un proceso de la instalación caldeado con carbón contiene unidades de manejo de carbón y preparación de carbón, calderas con quemadores, unidades de tratamiento de escorias y emisión, instalaciones

relacionadas con generación y turbina, unidades de tratamiento de agua y auxiliares.

Los sistemas de manejo y preparación de carbón incluyen instalaciones de descarga para trenes, barcazas u otros medios de transportación, parque de materiales de carbón el cual típicamente almacena carbón para 1.5-2 meses de producción, instalaciones de manejo de materiales para llevar el carbón desde el parque de materiales a la planta, alimentadores de carbón, planta de pulverización e instalaciones de alimentación a los quemadores de las calderas.

Las plantas de generación de energía caldeadas con carbón son costosas y complejas de operar con dinámicas de proceso muy lentas. Una planta de energía caldeada con carbón requiere muchas horas de preparación antes que la generación de electricidad pueda comenzar, haciéndola no económica para apagarla durante períodos de baja demanda. Al mismo tiempo, las unidades de generación de energía se deben sincronizar estrechamente con su carga para las consideraciones de integridad y seguridad de operación de la planta. Si la demanda se reduce a un nivel por debajo de un valor crítico, el carbón combustible solo no puede mantener suficientemente las condiciones térmicas necesarias de la caldera, y otros combustibles tal como diesel se deben usar conjuntamente con el carbón para mantener la caldera a las condiciones apropiadas. Esta es una condición indeseada que incrementa el gasto de operación.

Para reducir el espacio de carga entre períodos de alta demanda y baja demanda para igualar las demandas, las

instalaciones implementan una estrategia de fijación de precios de tiempo de uso agresiva para alentar a los usuarios a reducir el consumo durante períodos de alta demanda e incrementar el consumo durante períodos de baja demanda. Aunque el precio de la electricidad en períodos de alta demanda puede ser varias veces el precio de la electricidad en un período de baja demanda, esta estrategia sola no siempre es suficiente para puentear el espacio de demanda.

Muchas soluciones diferentes se han propuesto para almacenar el exceso de electricidad generada durante períodos de baja demanda para el uso durante períodos de alta demanda. Entre las soluciones que se han propuesto es bombear el agua a altas elevaciones durante la baja demanda y el uso de esta agua en reversa para energizar unidades hidroeléctricas durante períodos de alta demanda. Este método es conocido como "almacenamiento bombeado" y se usa en unas cuantas localidades alrededor del mundo incluyendo los Estados Unidos de América. El almacenamiento bombeado requiere grandes costos de capital y tiene un gran impacto en el ambiente.

La US 3,631,673 sugiere la acumulación de energía en horas de menos consumo almacenando aire comprimido. En horas pico, el aire comprimido impulsa una turbina de gas. La US 5,491,969 sugiere que el aire comprimido se use para quemar combustible en una turbina de gas (los compresores regulares luego son apagados). La US 3,849,662 describe una planta de energía que quema gas de carbón obtenido por gasificación de carbón, en una turbina de vapor. El gas de carbón producido durante las horas de menos consumo se almacena en un receptáculo presurizado y se quema en una

turbina de gas durante las horas pico.

Más del 30% de la energía eléctrica en los Estados Unidos se genera del carbón. La producción de carbón en los Estados Unidos es 1.1 billones toneladas cortas por año. Más del 90% de este carbón se usa para generar electricidad. América tiene reservas de carbón las cuales durarán por 250 años a los niveles de consumo actual.

La calidad del carbón se puede valorar en términos de varios atributos tales como valor calorífico, contenido de humedad, contenido de materia volátil, contenido de escorias, y contenido de azufre. Cada atributo, a un grado mayor o menor, afecta la manera en la cual se usa el carbón, sus características de quemado y por lo tanto su valor económico. Estos atributos varían de depósito de carbón a depósito de carbón y además, dentro de un depósito dado, las características del carbón pueden variar sustancialmente.

Los depósitos, tales como aquellos encontrados en la Powder River Basin (PRB) en los estados de Wyoming y Montana, así como en otros depósitos similares en todo el mundo, contienen carbón el cual es comúnmente conocido como carbón de "calidad inferior". El carbón de calidad inferior incluye carbones sub-bituminosos y ligníticos y también es conocido como carbón bituminoso. El contenido de agua de estos carbones es considerable, y alcanza niveles de muchos más de 30%.

En conexión con el contenido de humedad del carbón, las siguientes definiciones y métodos estándar descritos por la American Society for Testing and Materials (ASTM) serán confiadas en la presente solicitud.

Humedad total significa la medición de pérdida de peso en una atmósfera de aire bajo condiciones de temperatura, tiempo y flujo de aire rígidamente controladas, como se determina de acuerdo con ya sea § 870.19(a) o § 870.20(a), incorporadas en la presente para referencia;

Humedad inherente significa la humedad que existe como una parte integral del carbón agrietado en su estado natural, incluyendo agua en poros, pero excluyendo la que está presente en fracturas macroscópicamente visibles, como se determine;

Exceso de humedad significa la diferencia entre humedad total y humedad inherente, calculado de acuerdo con § 870.19 para carbones de alta calidad o de acuerdo con § 870.20 para carbones de calidad inferior, ambas incorporadas en la presente para referencia. "Humedad excesiva" será referida en la presente solicitud como "humedad superficial";

Carbones de calidad inferior significa carbones sub-bituminosos C y ligníticos;

Carbones de alta calidad significa carbones antracíticos, bituminosos, y sub-bituminosos A y B.

El procedimiento de laboratorio para la estimación de humedad inherente se resume en ASTM D1412-93 incorporada en la presente para referencia. La colección de muestras de carbón para la estimación también se determina en los documentos de ASTM.

En breve, el procedimiento de laboratorio es como sigue. El carbón es triturado a polvo fino, y expuesto al aire libre por un cierto período de tiempo de modo que la humedad superficial del carbón es secada en su mayor parte, y

la humedad superficial residual del carbón iguala la humedad ambiental. La suposición es que la humedad residual en el carbón es humedad inherente. El carbón luego se calienta en un horno y el contenido de humedad inherente se calcula de la pérdida de masa.

Existen dos tipos distintos de humedad en el carbón: humedad superficial y humedad inherente. La humedad superficial es el agua contenida en una partícula de carbón que puede ser el resultado de humedecer el carbón vertiendo físicamente agua sobre este bajo condiciones normales, tal como en el caso de lluvia o sistemas de rocío. La exposición de la partícula de carbón a una fuente de calor tal como el sol o un flujo de gases calientes o mecanismos de secado físico tales como centrifugas, puede expulsar esta humedad.

La humedad inherente es el agua que se enclava dentro de la partícula de carbón, la mayor parte desde su formación, o la cual penetra la partícula de carbón en un proceso que toma un período de tiempo largo y alta presión. La humedad inherente típicamente se enclava en la partícula de carbón en capilares o se une químicamente al carbón y es imposible expulsarla por procesos los cuales se usan para secar la humedad superficial, a menos que fuerzas más extremas se usen en la forma de alta temperatura y/o alta presión.

Los procesos de secado o desagüe de carbón tradicionales para la humedad inherente son complejos y se conducen en condiciones extremas. La mayoría de estos procesos se basan en una técnica en la cual las partículas de carbón se calientan por calentamiento convencional y la

presión se introduce o construye en el sistema. La fuerza combinada en el proceso expulsa la humedad inherente de las partículas de carbón. El contenido de humedad final del carbón tratado en este tipo de proceso es principalmente dependiente de las condiciones ambientales que prevalecen dentro del proceso. El resultado final es que el secado de la humedad inherente de carbón a bajos niveles requiere una gran cantidad de energía y un tiempo de residencia largo del carbón en el proceso de secado.

Las técnicas de desagüe existentes hacen uso de procesos de transferencia de calor convencionales para evaporar el agua de las partículas de carbón. Una desventaja de estos procesos es el hecho que las partículas de carbón se calientan desde el exterior hacia dentro para evaporar el agua. Se conoce que el carbón es un aislador de calor, con una residencia muy alta para transferencia de calor que conduce a ineficiencia, mucho calor se consume en el calentamiento de cada partícula de carbón y su ambiente, mientras que el gradiente de temperatura debe ser suficientemente grande para superar la alta resistencia de la partícula de carbón a transferencia de calor. Tal calentamiento es riesgoso y requiere cuidado especial, cuando se expone el carbón a alta temperatura puede encenderlo.

El proceso de desagüe para la mejora de carbones con alta humedad inherente de calidad inferior históricamente se ha enfrentado con dos desventajas principales, las cuales limitan el despliegue de sistemas de desagüe industriales en una escala grande. El carbón mejorado de calidad inferior producido a la fecha ha exhibido puntos de auto-ignición

bajos y combustión espontánea que ocurre más rápido que en otros carbones, incluyendo carbón bruto de calidad inferior. Se encontró en las pruebas que cuando una pila de carbón desaguado se expone al flujo de aire por un número de horas (típicamente menos de 72 horas), el carbón alcanza temperaturas a las cuales la combustión espontánea o auto-ignición ocurre. El calentamiento espontáneo o combustión espontánea de partículas de carbón han sido problemas comunes de carbones brutos de alto contenido de humedad inherente, pero tales eventos usualmente ocurren después de períodos de exposición al aire libre más largos de días y semanas. Este fenómeno es agravado por el proceso de desagüe el cual sustancialmente incrementa la relación de área superficial a volumen, por lo tanto haciendo las partículas de carbón más activas en la absorción de humedad de aire, reduciendo adicionalmente la vida en anaquel de carbón mejorado.

Otro problema observado en el desagüe de carbón es la producción de grandes cantidades de finos de carbón. Cada transferencia de carbón seco después de que deja el proceso degrada el tamaño de partícula de carbón adicionalmente y produce más polvo de carbón, cuando se seca el carbón es más frágil. El carbón seco no tiene la capacidad inherente de atrapar pequeñas partículas en sus superficies como el carbón húmedo. Esto origina que las partículas de tamaño de polvo sean liberadas y lleguen a ser pérdidas en la transportación, y tiene un alto riesgo de originar incendios o explosiones.

Un artículo en *The Australian Coal Review*, Octubre 1999, p. 27, trata la limpieza seca de carbón, es decir la separación de carbón de rechazos (rocas) sin flotación de

agua. En el proceso de limpieza, el contenido de humedad del carbón de alimentación no deberá alcanzar un nivel donde las partículas se adhieren conjuntamente, lo cual es una función de la humedad superficial. Por consiguiente, un carbón de calidad inferior puede tener totalmente un nivel de humedad inherente alta y aún estar superficialmente seco y adecuado para la limpieza seca. El artículo sugiere que el secado térmico se puede emplear para reducir la humedad superficial a un nivel suficientemente bajo y recomienda transportar el carbón en una banda a través de un secador de microondas. En este tipo de secadores, el agua fácilmente absorbe la energía calorífica y se evapora mientras el carbón no se calienta.

La US 4280033 describe un aparato y proceso de secado de MW para carbón triturado de alto grado para coquificación o gasificación. El aparato comprende una banda transportadora continua que pasa a través de una zona de tratamiento cerrada, placas de electrodos en lados opuestos de la banda para carbón, y sistema de soplado con aire para pasar aire caliente sobre la banda para remover la humedad.

La US 4259560 describe un método de calentamiento/secado de MW para materiales en polvo conductivos, especialmente carbón antes de la coquificación. La pulverización se usa para evitar la formación de arco eléctrico. El contenido de humedad se puede regular en tiempo real por mediciones de detector IR.

La remoción de varios contaminantes del carbón por medio de Radiación Electromagnética es también conocida. A este respecto, se hace referencia a "Mossbauer analysis of the

microwave desulferization process of raw coal" por S. Weng (1993); "Effect of microwave heating on magnetic separation of pyrite" por Uslu et all (2003); y "Microwave embrittlement and desulpherisation of coal" por Marland et all (1998).

BREVE DESCRIPCION DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a un nuevo sistema de control de energía y un proceso para mejorar el combustible fósil sólido tal como carbón, para el uso en este. Más particularmente se relaciona con un proceso para almacenar electricidad barata generada durante períodos de baja demanda en la forma de carbón mejorado, para el uso durante períodos de alta demanda cuando el costo de la electricidad es una gran cantidad mayor.

La invención combina los métodos de negocios por los cuales la electricidad se genera y almacena durante períodos de baja demanda y se usa para generar electricidad a precios altos durante períodos de alta demanda, con métodos físicos que permiten tal almacenamiento.

En el método de la presente invención, la electricidad de bajo costo se consume durante horas de baja demanda, por ejemplo en la noche, para mejorar el combustible fósil de bajo valor calorífico, de bajo costo para el uso como un sustituto para combustible de alto valor calorífico, de alto costo. El combustible mejorado se almacena y se usa en unidades de generación de energía durante todo el día, particularmente durante períodos de alta demanda, para generar electricidad que se puede vender en el mercado de energía minorista a un precio considerablemente mayor.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para controlar la energía eléctrica generada durante los períodos de baja demanda, en un mercado de energía eléctrica donde el consumo de energía eléctrica exhibe períodos de diferentes demandas. El método incluye mejorar el combustible fósil sólido por secado por radiación electromagnética (EMR, por sus siglas en inglés) durante los períodos de baja demanda y utilización del combustible mejorado.

La utilización preferiblemente incluye el quemador del combustible fósil mejorado para generación de energía eléctrica al menos durante períodos de alta demanda. Sin embargo, puede incluir también el quemado del combustible en otro proceso industrial que consume calor o comercializando el combustible con otra entidad de negocios.

El método de control es particularmente útil para la aplicación en una planta de generación de energía, donde el mejoramiento se realiza por medio de la energía eléctrica generada por la misma planta. Preferiblemente, el combustible fósil mejorado se almacena y quema también en la misma planta, para la generación de energía eléctrica al menos durante períodos de alta demanda.

Preferiblemente, la cantidad de combustible fósil mejorado y almacenado producido durante períodos de baja demanda cubre todo el consumo de combustible para la generación de energía en la misma planta durante períodos de alta demanda. Más preferiblemente, la cantidad diaria promedio del combustible fósil mejorado y almacenado cubre al menos el consumo de combustible diario promedio para la

generación de energía en la misma planta.

Preferiblemente, el secado por EMR usado en el método incluye reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil mejorado por 50% o más.

De conformidad con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para mejorar el combustible fósil sólido. El método incluye el desagüe del combustible fósil sólido por EMR, de modo que el contenido de humedad inherente en el combustible fósil mejorado se reduce a al menos la mitad. La cantidad diaria de combustible fósil mejorado obtenido por el proceso de desagüe eléctrico es igual al consumo diario de la planta de generación de energía y/u otro proceso industrial.

El combustible fósil sólido puede ser carbón de calidad inferior, esquisto bituminoso, arena bituminosa, carbón sub-bituminoso, etc., con alto contenido de humedad inherente. Sin embargo, los carbones de alta calidad con humedad ingerente baja inicial se pueden secar adicionalmente tan bajo como 1% de humedad inherente.

El método se puede realizar mejor donde el consumo de energía eléctrica debido a otros consumidores exhibe períodos de diferentes demandas y el proceso de desagüe eléctrico se realiza durante períodos de baja demanda del consumo de energía eléctrica.

Preferiblemente, el proceso de desagüe por EMR se realiza usando energía eléctrica producida por una planta de generación de energía quemando el combustible fósil en su estado mejorado. Más específicamente, se realiza donde la planta de generación de energía opera con picos diarios de

producción de energía eléctrica y el proceso de secado se realiza predominantemente durante horas de menos demanda de la producción de energía eléctrica.

El método incluye el almacenamiento de combustible fósil mejorado obtenido durante las horas de menos consumo y el uso de combustible fósil mejorado para la producción de energía eléctrica durante los picos diarios. Preferiblemente, la cantidad de combustible fósil mejorado obtenido durante las horas de menos consumo cubre al menos el consumo diario de la planta de generación de energía o el período entre dos períodos de baja demanda subsiguientes. Esto reduce sustancialmente los costos de operación del proceso de desagüe.

El secado por EMR puede ser precedido por la expulsión de humedad superficial por medio de gases calientes.

Preferiblemente, el secado por EMR se realiza por medio de radiación de microondas.

El método de la presente invención en particular proporciona el desagüe (secado) de combustibles fósiles sólidos de grado inferior a bajas temperaturas y presiones por medio de radiación electromagnética. Este método requiere períodos cortos de puesta en marcha y apagado adecuados para la operación interruptible durante períodos cortos, y tiene una pequeña zona que permite que el método sea desplegado dentro o a lo largo de la planta de energía. El uso de este método para mejorar el carbón de calidad inferior durante períodos de baja demanda para producir la demanda del siguiente día de carbón, puede ahorrar a las instalaciones

millones de dólares en un año en costos de combustible.

El proceso de desagüe físico se basa en la exposición del combustible fósil sólido a radiación electromagnética de alta frecuencia. Existen muchos beneficios de un proceso de desagüe basado en radiación sobre otros procesos. El desagüe por radiación se realiza a presión atmosférica y no requiere el calentamiento de la partícula de combustible misma. El procedimiento de puesta en marcha del proceso y su detención es rápido, haciendo el proceso adecuado para las operaciones no continua e interruptible restringidas por la necesidad de utilizar electricidad de bajo costo. Además, la radiación puede ser más eficiente que otras técnicas porque el desagüe de partículas de combustible no requiere la evaporación completa del agua, cuando algo del agua se puede expulsar de las partículas de combustible mecánicamente.

Diferente de los procesos de desagüe de humedad inherente existentes que involucran condiciones de calor y presión extremas, los cuales requieren espacios grandes y normalmente se despliegan cerca de la fuente del combustible, el método de la invención se puede implementar con una zona pequeña, es tranquilo, ambientalmente amigable y es simple de operar, haciéndolo adecuado para ambos lados de la cadena de valor del combustible - del lado de la fuente así como del lado de la instalación.

Una premisa fundamental del proceso es someter las partículas de combustible a radiación electromagnética a frecuencias de radio, microondas o mayores. La intensidad de la radiación, es decir la densidad de energía por unidad de

volumen de combustible y la frecuencia de la radiación se pueden variar de acuerdo con los requerimientos, tomando en cuenta todos los factores relevantes. Otra premisa importante del proceso es el uso de electricidad barata durante períodos de baja demanda para desaguar y mejorar el combustible que se usa para producir electricidad más costosa en todo el día, en particular durante períodos de alta demanda. Esto introduce a las instalaciones un medio innovador por el cual la electricidad se puede generar y almacenar dentro del combustible durante períodos de baja demanda para ser usado durante períodos de alta demanda para producir mayores ingresos.

Cuando el proceso se despliega cerca de una unidad de generación de energía de la instalación, llega a ser posible a un grado grande integrar el proceso con las instalaciones de manejo de combustible existentes del servicio público, ahorrando por lo tanto grandes costos de capital. En este caso, el proceso de desagüe se realiza en una etapa previa a una unidad de pulverización la cual muele los sólidos de combustible a polvo antes de alimentar el polvo a los quemadores de la caldera. En tal caso, el combustible de grado inferior puede ser retirado de un parque de materiales por medio de instalaciones de manejo de material existentes y convencionales. El combustible luego se seca por medio de calor convencional, es decir una corriente de gases calientes, y luego se pasa a través de las unidades de radiación. El combustible desaguado (mejorado) se puede almacenar para uso más tarde, o puede fluir directamente desde las unidades de radiación en la unidad de pulverización

existente. Los procesos de operación de planta de energía normales luego pueden proceder.

Cuando el combustible mejorado se almacena para uso más tarde, se pueden usar instalaciones de almacenamiento encerradas existentes o nuevas, tales como cajones o silos o cualquier otra unidad de almacenamiento de material seco confinado. Este combustible luego se puede alimentar directamente a la unidad de pulverización, y re-introducir a los procesos de planta de energía normales. Manteniendo el combustible mejorado en un ambiente de almacenamiento confinado y bajo condiciones controladas extiende su vida en anaquel y reduce el riesgo de ignición no deseada. El combustible acumulado se puede almacenar en silos, cajones o cualquier otro medio de almacenamiento. Durante el período de de almacenamiento las instalaciones de almacenamiento se pueden purgar con gases inertes tal como nitrógeno o dióxido de carbono, para prevenir que el combustible y finos se quemen.

Previo a someter el combustible sólido de grado inferior a radiación, se puede dimensionar. Esto se podrá dar en cualquier forma apropiada, por ejemplo por clasificación o molienda. El dimensionamiento de partícula adicional se realiza durante la etapa de pulverización la cual toma lugar después del proceso de desagüe y previo a que el combustible sea alimentado al quemador. El secado del combustible de grado inferior por EMR produce finos y el combustible irradiado exhibe características frágiles las cuales pueden probar que son benéficas en la unidad de pulverización.

El método de la presente invención permite que el

combustible fósil sea mejorado cercano al lugar de su consumo, tanto en espacio como en tiempo, de modo que el combustible fósil eco no necesita mucho manejo adicional tal como transportación. Inmediatamente después del secado, el combustible puede sufrir un proceso de pulverización de reducción de tamaño adicional. Por consiguiente los finos de carbón no están sueltos en la transportación y el riesgo de causar incendios y explosiones se disminuye.

El combustible se podrá procesar en lotes pero preferiblemente se procesa en una base semi-continua o continua. Por consiguiente, el combustible se puede transportar a través o más allá de una o más fuentes de radiación electromagnética en dispositivos de transporte apropiados. Tales dispositivos preferiblemente son inertes a radiación electromagnética.

Cualquier material apropiado se puede usar para los dispositivos de transporte y por ejemplo se puede hacer uso de transportadores u otros dispositivos de transporte los cuales se hacen de materiales, por ejemplo material cerámico o acero inoxidable, los cuales son inertes a radiación. Esto asegura que no se consuma energía innecesariamente para calentar los elementos del proceso los cuales no contribuyen al objeto principal de expulsar la humedad enclavada de las partículas de combustible.

El combustible se puede someter a la radiación en una o más etapas. La radiación electromagnética a la frecuencia apropiada excita las moléculas de agua enclavadas dentro de las partículas de combustible, y en consecuencia incrementa la temperatura del agua de modo que el agua se

expulsa y se libera del combustible. Esto, a su vez, puede elevar la temperatura de las partículas de combustible. La temperatura de agua mayor reduce los efectos de la tensión superficial de modo que las fuerzas que enclavan el agua dentro de los capilares en las partículas de combustible se reducen y el proceso de desagüe llega a ser más eficiente.

También es posible hacer variar las características físicas de cada etapa. Por ejemplo, al menos en una etapa el combustible se puede someter a radiación electromagnética en la presencia de un gas inerte adecuado, tal como nitrógeno o dióxido de carbono, el cual actúa como un agente de supresión de ignición para prevenirlo de quemarse y suprimir las condiciones las cuales se pueden desarrollar y podrán conducir a explosión. Este gas también podrá calentar el combustible procesado para secar su humedad superficial la cual puede estar originalmente contenida en el combustible o la cual se construye durante el proceso de radiación.

En la mayoría de los casos el vapor de agua que se libera por el proceso de radiación es limpio y se podrá liberar a la atmósfera.

El combustible se puede someter a una etapa de enfriamiento la cual también removerá el vapor de agua, y después el combustible seco se puede tamizar y recuperar. También se puede requerir que las partículas de carbón desaguado se mantengan en ciertas condiciones ambientales para expulsar todo el exceso de humedad superficial la cual se acumula como un resultado de la radiación.

De acuerdo con el siguiente aspecto de la presente invención, se proporcionan los siguientes sistemas para

practicar los métodos anteriores.

Un sistema de producción de energía por quemado de combustible fósil sólido en una planta de generación de energía que incluye quemadores comprende una planta de secado por EMR para mejorar el combustible fósil sólido y medios de transportación para mover el fósil sólido mejorado a los quemadores. La planta de EMR se adapta para reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil sólido mejorado por 50% o más. El sistema preferiblemente comprende medios de almacenamiento adecuados para almacenar una cantidad del combustible fósil sólido mejorado para igualar al menos el consumo diario de la planta de generación de energía.

Un sistema para producir combustible fósil sólido mejorado para quemar en un proceso industrial tal como generación de energía, el sistema comprende una planta de secado por EMR adaptada para reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil sólido mejorado por 50% o más, y medios de almacenamiento adecuados para almacenar una cantidad del combustible fósil sólido mejorado para igualar al menos el consumo diario del proceso industrial.

Un sistema para producir combustible fósil sólido mejorado, que comprende una planta de secado por EMR adaptada para reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil sólido mejorado por 50% o mas, la planta de secado por EMR se adapta para procesar uno de los siguientes: carbones de calidad inferior, esquisto bituminoso, arena bituminosa.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente

invención, se proporciona combustible fósil sólido mejorado obtenido por secado por EMR por los métodos descritos anteriormente o en los sistemas descritos anteriormente. Nuestras pruebas muestran que el combustible mejorado tiene valor calorífico incrementado o emisiones reducidas, mientras que al mismo tiempo su valor económico incrementa también.

BREVE DESCRIPCION DE LA FIGURA

Para entender la invención y ver cómo se puede realizar en la práctica, hora será descrita una modalidad, por vía de ejemplo no limitante solamente, con referencia a la figura 1 acompañante la cual es un diagrama esquemático de secado de carbón de calidad inferior y utilización de acuerdo con el método de la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

Con referencia a la figura 1, las etapas y los componentes de un ejemplo de proceso y sistema de conformidad con la invención se representan en los antecedentes del proceso existente de quemado de carbón en una instalación de producción de energía, como se describe en los Antecedentes de la Invención. Para propósitos de ilustración, la figura 1 muestra el proceso para desaguar el carbón, pero es adecuado de manera similar para cualquier otro combustible fósil sólido. El proceso descrito se diseña para se realizado entre el parque de materiales de carbón y las carboneras de carbón que alimentan la planta de pulverización.

Un esquema de producción para practicar el proceso incluye los siguientes componentes principales: materia prima

de carbón 10, unidad de preparación de carbón 12, estación de carga 16, planta de secado por microondas 20, unidad de enfriamiento y curado 34, unidades de almacenamiento de carbón seco 66, unidad de pulverización 68, y planta de tratamiento de agua 30. Los otros componentes del esquema llegarán a ser claros adicionalmente. En esta figura, un área encerrada 8 representa el proceso de la presente invención mientras que la porción situada fuera del área encerrada representa el proceso existente en la instalación.

El carbón húmedo de calidad inferior se almacena en la materia prima 10 y se alimenta usando técnicas apropiadas a la unidad de preparación de carbón 12 en la cual el carbón se puede dimensionar. Si es necesario el carbón se puede clasificar o moler en cualquier forma apropiada.

El carbón luego se pasa a la estación de carga 16 donde el carbón se transfiere a los dispositivos de transporte (por ejemplo, transportadores) los cuales son transparentes a radiación de microondas y los cuales pueden soportar la temperatura de proceso sin resultar en daño mecánico. Por ejemplo materiales de cerámica, plástico o acero inoxidable, los cuales no se calientan por radiación de microondas y los cuales no atenúan materialmente tal radiación, se pueden usar en la construcción de transportadores adecuados (no mostrados). La estación de carga 16 usa sistemas de manejo de material convencionales. El diseño puede ser diferente para cada aplicación específica, y si se despliega una estrategia de proceso en lote o continuo. En una operación en lote el carbón se carga a un cierto perfil en la planta MW 20, y la energía requerida

para el secado es dependiente del tiempo de radiación. En una operación continua, el carbón se mueve a través de la planta de secado con microondas 20 y la energía requerida para el secado es dependiente de la velocidad de movimiento.

La planta de secado por microondas 20 comprende un alojamiento y un número de fuentes de radiación de microondas (no mostradas). El alojamiento se hace de material especial tal como acero inoxidable y se protege de modo que la radiación de microondas no escape del alojamiento, asegurando por esto que el ambiente es electromagnéticamente seguro, y el vapor de agua y gases liberados se controlan. El alojamiento también se diseña para enfocar la radiación electromagnética directamente sobre el carbón, para maximizar el rendimiento del carbón seco relativamente a la entrada de energía.

Las fuentes de radiación MW se pueden hacer usando magnetrón u otra tecnología adecuada. La frecuencia de radiación de cada fuente y la densidad de energía que prevalece en el alojamiento se pueden variar de acuerdo con los requerimientos tomando en cuenta todas las circunstancias relevantes. De manera similar, el período para el cual el carbón se somete a la radiación se puede variar tomando en cuenta la eficiente del proceso de desagüe.

Aire forzado o gas inerte tal como nitrógeno o dióxido de carbono, dependiendo de las condiciones de proceso, se dirige desde una fuente 22 a la planta 20. La inyección de aire forzado o gases inertes se usa para mantener un ambiente de baja humedad dentro del alojamiento. La humedad dentro del alojamiento es debido al agua liberada

del carbón, y debido a la baja temperatura del proceso. Una cantidad sustancial de vapor de agua 28 se libera del carbón. Este vapor de agua se expulsa a la atmósfera por medio del aire o gases inertes 22 que se inyectan en el alojamiento.

En el caso donde una cantidad excesiva de agua se libera del carbón, el agua 24 la cual se drena de la unidad se puede dirigir a la planta de tratamiento de agua 30. Este proceso no se puede requerir cuando el agua la cual es removida del carbón se puede liberar al ambiente.

La planta de secado MW 20 puede comprender por ejemplo una etapa única. También se podrá hacer de una pluralidad de etapas dependiendo del grado de desagüe requerido, y la cantidad de carbón el cual está siendo desaguado.

Las múltiples unidades de planta MW se pueden apilar en paralelo y en serie entre si. Las unidades paralelas sirven para incrementar la capacidad del proceso completo mientras que las unidades en serie sirven para incrementar la capacidad de cada línea individualmente.

El carbón seco que emerge de la planta 20 se dirige a la unidad de enfriamiento y curado de carbón 34. En esta etapa, el carbón puede contener humedad superficial la cual es el resultado de la humedad inherente expulsada por la radiación electromagnética (véase posteriormente).

El carbón mejorado 64 que emerge de la unidad de enfriamiento y curado 30 se puede dirigir ya sea a las unidades de almacenamiento encerradas de carbón seco 66 o a la siguiente etapa en el proceso de la instalación la cual será usualmente la unidad de pulverización 68, preparando el

carbón para quemado.

La unidad de almacenamiento 66 se dimensiona para mantener suficiente carbón mejorado para perdurar durante un período de producción de energía de alta carga, cuando la planta de radiación MW no es operacional. Los gases inertes 70 también se pueden introducir a las unidades de almacenamiento encerradas 66 para mantener el carbón bajo condiciones que no son conducentes a ignición o fuego. Como se muestra por la línea quebrada divisiva en la figura 1, las unidades de almacenamiento encerradas 66 pueden ser parte de una estructura de instalación existente, o se pueden agregar especialmente para acomodar el carbón mejorado producido por el proceso de secado.

Una conexión de desvío 72 proporciona una conexión directa entre la unidad de enfriamiento y curado 34 y la unidad de pulverización 68. El desvío puede ser operacional durante períodos de producción de energía de baja demanda.

El modo de operación del proceso es tal que el carbón sirve como capacidad para almacenar energía, donde la energía eléctrica barata se usa para mejorar el carbón que se usa durante un período de alta demanda. Esta estrategia beneficia adicionalmente a la instalación porque mantiene la planta de energía operacional a una cierta carga durante períodos de baja demanda y por lo tanto produce características de carga más equilibradas y estables durante todo el día y de este modo estabiliza la generación de electricidad. El proceso también requiere períodos de puestas en marcha y apagado relativamente cortos.

Para reducir el costo de la energía requerida para

el proceso completo, las unidades de planta MW deberán tener una capacidad de proceso la cual es suficiente para secar la cantidad de carbón requerida para una operación del día completo en una materia de unas cuantas horas cuando la demanda de electricidad está en su nivel más bajo. Esto requiere que el proceso solamente trabaje ciertas horas, y se encienda y apague cuando la demanda cambia durante todo el día.

El proceso ejemplar de la presente invención se aparta del proceso normal de la instalación en el parque de materiales de carbón 10 y regresa al proceso normal a la entrada a la unidad de pulverización 68. La instalación de almacenamiento confinada 66 se diseña para mantener el carbón para períodos de alta demanda, y tiene una capacidad de almacenamiento la cual perdurará durante un período de alta demanda cuando la planta MW de desagüe 20 no es operacional.

Aunque la radiación MW se utiliza como un ejemplo, se puede usar otra radiación electromagnética. La radiación electromagnética calienta la humedad inherente encerrada dentro de la partícula de carbón. Cuando esta agua se calienta, resulta en incremento de presión dentro de la partícula de carbón lo cual sirve como una fuerza de impulso para el vapor de agua para escapar de cada partícula de carbón. En su camino a la superficie de la partícula de carbón, el vapor de agua se puede llevar mecánicamente a lo largo de otra agua que está encerrada dentro de la partícula. Este proceso puede incrementar el rendimiento térmico de la radiación, cuando no toda la humedad inherente se debe evaporar para escapar de la partícula de carbón. El resultado

es que las condiciones de proceso se mantienen a temperaturas relativamente bajas y no toda el agua liberada del carbón está en la fase vapor. El agua líquida se puede expulsar de la superficie del carbón y lejos del alojamiento por medios mecánicos. La inyección de aire forzado o gas inerte 22 sirve como un método para la remoción del agua en exceso, pero otros métodos también son posibles.

Las pruebas de desagüe mostradas posteriormente conducidas en carbón de calidad inferior tal como Powder River Coal por medio de radiación electromagnética de alta frecuencia en condiciones de proceso moderadas prueban que la humedad inherente se puede reducir a niveles de 1-2% de niveles superiores a 25%. Además, las pruebas muestran que el proceso también es adecuado para carbones de alta calidad con baja humedad inherente inicial de 6-10% la cual se puede reducir a tan baja como 1%. También, el secado por EMR de carbón probó conservar su contenido de materia volátil, un atributo crítico de valor calorífico de carbón y su rápida capacidad de quemado dentro de una caldera. El proceso de combustibles fósiles sólidos mejorados por EMR es rico en variables de proceso que son fáciles de controlar tal como nivel de radiación, tiempo de radiación, tamaño de partícula y otros, factores que hacen el proceso fácil de controlar y optimizar.

Una cantidad de carbón de PRB bruto fue embarcado a un laboratorio en Haifa, Israel, para pruebas iniciales. Las muestras se trataron en un horno de microondas doméstico con una energía de salida de 900 Watt y frecuencia de 2,450 MHz. Además del carbón tratado, también se analizó una muestra de

carbón bruto y la siguiente Tabla 1 es un resume de las pruebas:

Tabla 1

Muestras	Bruto [A]	B	C
Tiempo MW [min]		6.00	10.00
Peso inicial [gr]		418.40	427.00
Peso final [gr]		346.80	336.30
Energía [Watt-hr]		90.00	150.00
Pérdida de Peso [gr]		71.60	90.70
Porcentaje de Cambio de peso		17.11%	21.24%
gr/k Whr		795.56	604.67
Toneladas cortas/MW-hr		0.88	0.67
Análisis de Laboratorio:			
Humedad Inherente	25.30%	9.40%	1.80%
Escoria	2.40%	3.00%	5.40%
Materia Volátil	35.10%	41.00%	48.20%
Carbón Fijo	37.20%	46.60%	44.60%
Azufre total	0.13%	0.16%	0.31%
Eficiencia de Pérdida de Peso			
Cantidad original de agua [gr]		105.8552	108.031
Cantidad final de agua [gr]		32.60	6.05
Pérdidas de agua [gr]		73.26	101.98
Pérdida de peso real [gr]		71.60	90.70
MJ/Kg	20.96	25.58	27.83
Btu/lb	9011.18	10997.40	11964.74

A partir del análisis de laboratorio es evidente que:

- la pérdida de peso observada durante las pruebas físicas se atribuye a humedad inherente reducida del carbón;

- el carbón tratado muestra composiciones diferentes basadas en el hecho que el agua se expulsa y la masa total de muestra se reduce;

- la materia volátil no se afectó por el proceso, el cual es una salida principal para todos los procesos de secado de humedad inherente para carbón PRB. En efecto, el

contenido de materia volátil tiene proporcionalidad incrementada para la reducción en humedad inherente.

Los resultados de laboratorio como se indican en la tabla anterior han mostrado que el secado de humedad inherente en carbón de PRB no es únicamente posible, sino que el proceso también es relativamente eficiente. Además, si el proceso se conduce durante periodos de baja demanda de electricidad él mismo también es altamente económico.

La siguiente Tabla 2 resume la eficiencia de proceso:

Tabla 2

Temperatura inicial:	60 °F (15.60°C)
Punto de ebullición:	212 °F (100°C)
Termodinámicas:	
Energía para calentar 1.0 lb (0.454 kg) de agua	153.52 Btu (161.863 kJ)
Energía para hervir el agua (calor latente)	970.00 Btu (10222.719 kJ)
Energía total para calentar y evaporar 1.0 lb (0.454 kg) de agua	1,123.52 Btu (1184.583 kJ)
Resultados de Prueba	
Caso B	
Cantidad de agua evaporada	0.16 lb (0.072 kg)
Energía para evaporar	307.09 Btu (323.780 kJ)
Energía total para calentar y evaporar 1.0 lb (0.454 kg) de agua	1909.17 Btu (2012.933 kJ)
Eficiencia	58.8%
Caso C	
Cantidad de agua evaporada	0.225 lb (0.102 kg)
Energía para evaporar	511.82 Btu (539.637 kJ)
Energía total para calentar y evaporar 1.0 lb (0.454 kg) de agua	2271.11 Btu (2394.544 kJ)
Eficiencia	49.5%

La técnica de radiación electromagnética para secar la humedad inherente en carbón ofrece al menos los siguientes beneficios potenciales: un proceso relativamente simple y barato a presión y temperatura inferior, un tiempo de

residencia corto en la unidad de EMR lo cual hace posible que gran cantidad de carbón sea procesado en una base continua o semi-continua, un método de tratamiento ambientalmente amigable, un proceso que puede ponerse en marcha y apagarse fácilmente, un proceso con una pequeña zona que podrá ser desplegado en una instalación normal, un proceso que hace uso de energía de bajo costo para mejorar el carbón usado durante períodos de alta demanda para producir electricidad de alto costo, un proceso que produce combustible el cual será consumido dentro de un período de tiempo corto eliminado por lo tanto el problema de combustión espontánea, un proceso que se despliega en proximidad cercana a la etapa donde el carbón se pulveriza a polvo, eliminando por lo tanto el problema de finos de carbón y una solución que puede integrarse bien en el proceso de generación de polvo completo de una instalación.

Aunque una descripción de una modalidad específica se ha presentado, se contempla que varios cambios se podrán hacer sin desviarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, el presente método se podrá modificar y usar para mejorar combustibles fósiles sólidos diferentes del carbón. Los métodos de la presente invención se pueden practicar en una instalación de secado de combustible separada (no produciendo energía eléctrica), el combustible sólido mejorado se puede comercializar a otros consumidores o se puede usar en otras instalaciones industriales tales como hornos de cemento, hornos, etc.

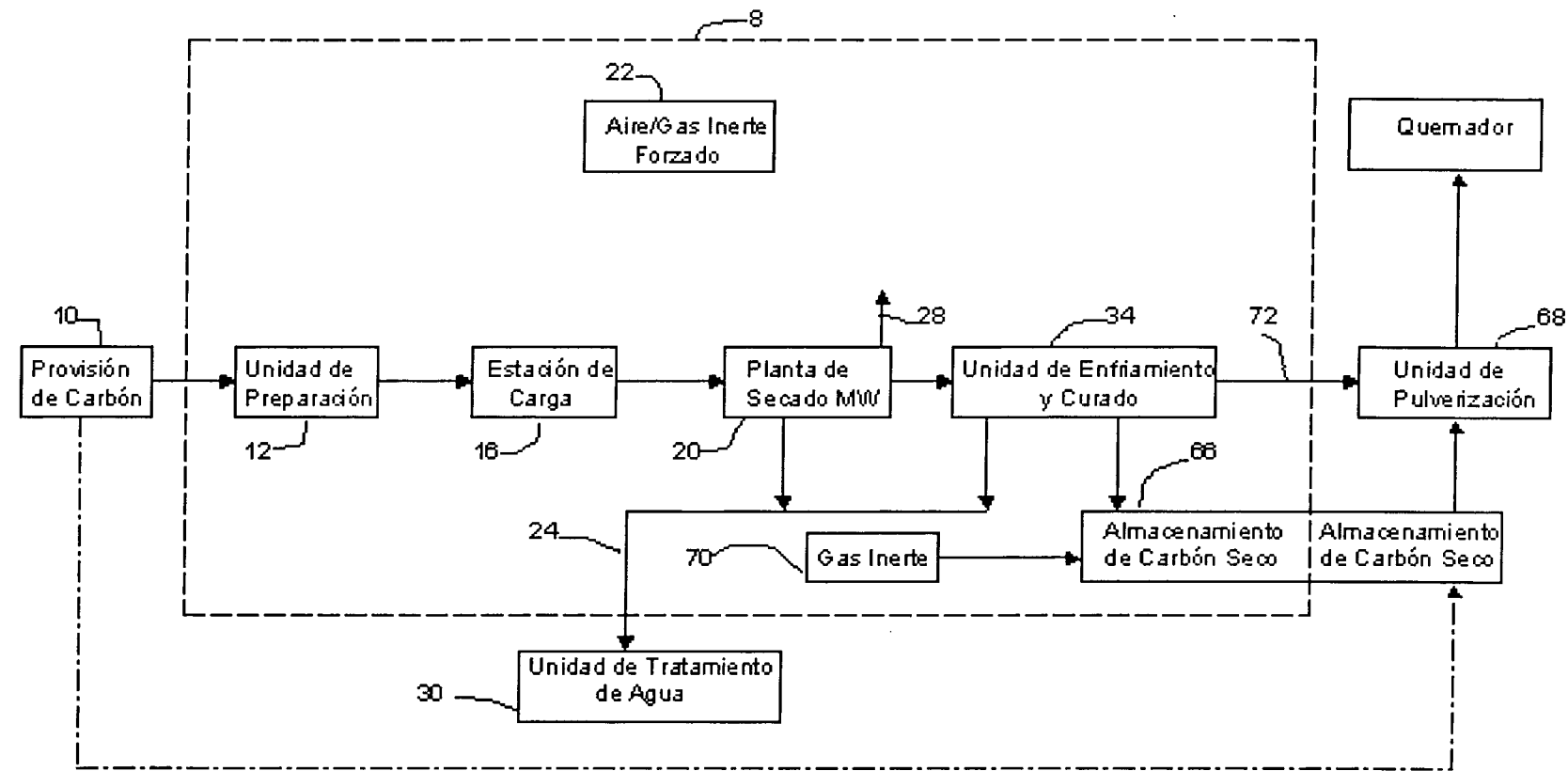


FIG 1.

AMG\AMG\ID-141125\WPC15791

REIVINDICACIONES

1. En un mercado de energía eléctrica donde el consumo de energía eléctrica exhibe periodos de demandas diferentes, un método para controlar energía eléctrica generada, caracterizado porque incluye

- mejorar el combustible fósil sólido por secado por EMR durante periodos de baja demanda usando la energía eléctrica, y

- utilización del combustible fósil sólido mejorado.

2. Método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque la utilización incluye uno o más de lo siguiente: quemar el combustible fósil mejorado para la generación de energía eléctrica por lo menos durante periodos de alta demanda, quemar el combustible fósil mejorado en un proceso industrial que consume calor, y comercializar el combustible fósil mejorado.

3. Método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque se aplica por una planta de generación de energía, donde el mejoramiento se realiza por medio de energía eléctrica generada por la misma planta.

4. Método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque además incluye almacenamiento en al menos parte del combustible fósil sólido mejorado.

5. Método de conformidad con la reivindicación 4, caracterizado porque la utilización incluye quemado del combustible fósil mejorado para la generación de energía eléctrica en la misma planta de generación de energía, al menos durante periodos de alta demanda.

6. Método de conformidad con la reivindicación 5, caracterizado porque la cantidad del combustible fósil mejorado y almacenado es al menos igual a aquel el cual se consume por generación de energía en la misma planta durante periodos de alta demanda.

7. Método de conformidad con la reivindicación 6, caracterizado porque la cantidad diaria promedio del

combustible fósil mejorado y almacenado es al menos igual a aquella la cual se consume diario en el promedio para la generación de energía en la misma planta.

8. Método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el secado por EMR incluye reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil mejorado por 50% o más.

9. Método de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el combustible fósil sólido es uno o más de los siguientes: carbón de calidad inferior, esquisto bituminoso, arena bituminosa.

10. Método para mejorar el combustible fósil sólido para quemar en un proceso industrial, caracterizado porque incluye secar el combustible fósil sólido por Radiación Electromagnética (EMR), de modo que el contenido de humedad inherente en el combustible fósil mejorado se reduce por 50% o más, y cantidad diaria de combustible fósil mejorado obtenido por el secado por EMR es igual al consumo diario en el proceso industrial.

11. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el secado por EMR se realiza por un primer consumidor de energía en un área donde el consumo de energía eléctrica debido a consumidores diferentes del primero exhiben periodos de demandas diferentes, el secado por EMR se realiza durante periodos de baja demanda del consumo de energía eléctrica.

12. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el secado por EMR se realiza usando energía eléctrica producida por una planta de generación de energía quemando el combustible fósil en el estado mejorado.

13. Método de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque la planta de generación de energía opera con picos diarios de producción de energía eléctrica para consumidores externos y el secado por EMR se realiza predominantemente durante horas de menor consumo de la producción de energía eléctrica.

14. Método de conformidad con la reivindicación 13,

165

caracterizado porque además incluyen almacenamiento de combustible fósil mejorado obtenido durante las horas de menor consumo.

15. Método de conformidad con la reivindicación 13, caracterizado porque la cantidad de combustible fósil mejorado obtenido durante las horas de menor consumo es al menos igual a aquella la cual se consume diariamente por la planta de generación de energía.

16. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el combustible fósil sólido es uno o más de los siguientes: carbón de calidad inferior, esquisto bituminoso, arena bituminosa.

17. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el secado por EMR se precede por el secado en gases calientes.

18. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el secado por EMR se realiza por radiación de microondas.

19. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el proceso industrial es generación de energía en una planta que opera con picos diarios de producción de energía eléctrica para consumidores externos en el mercado al por menor, el secado por EMR se realiza predominantemente durante horas de menos consumo de la producción de energía eléctrica, y usando energía eléctrica producida por la misma planta de generación de energía.

20. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el combustible fósil sólido mejorado se almacena en una instalación que hace funcionar el proceso industrial.

21. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el combustible fósil sólido mejorado se almacena en contenedores cerrados y los contenedores se purgan con gases inertes para prevenir la ignición.

22. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el combustible fósil sólido se reduce a tamaño predeterminado ante el secado por EMR.

23. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el secado por EMR se realiza en una o más etapas, al menos una etapa que es dirigida para expulsar la humedad inherente.

24. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque el secado por EMR se realiza al menos en parte en la presencia de un gas inerte.

25. Método de conformidad con la reivindicación 10, caracterizado porque incluyen enfriar el combustible fósil sólido mejorado.

26. Combustible fósil sólido mejorado, caracterizado porque se obtiene por el método de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 25.

27. Método para mejorar el combustible fósil sólido para quemar en un proceso industrial, caracterizado porque incluye secar el combustible fósil sólido por Radiación Electromagnética (EMR), donde el combustible fósil sólido es uno o más de los siguientes: carbón de calidad inferior, esquisto bituminoso, arena bituminosa.

28. Método para mejorar el combustible fósil sólido para quemar en un proceso industrial, caracterizado porque incluye secar el combustible fósil sólido por Radiación Electromagnética (EMR), donde el secado por EMR se realiza por un primer consumidor de energía en un área donde el consumo de energía eléctrica debido a consumidores diferentes del primero exhiben periodos de demandas diferentes, el secado por EMR se realiza durante periodos de baja demanda del consumo de energía eléctrica.

29. Método para mejorar el combustible fósil sólido para quemar en una planta de generación de energía, caracterizado porque incluye secar el combustible fósil sólido por Radiación Electromagnética (EMR), donde el secado por EMR y el quemado se realizan en la misma planta de generación de energía.

30. Método de conformidad con la reivindicación 29, caracterizado porque el secado por EMR incluye reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil

mejorado por 50% o más.

31. Sistema de producción de energía por quemado de combustible fósil sólido en una planta de generación de energía que incluye quemadores, el sistema se caracteriza porque comprende

una planta de secado por EMR para mejorar el combustible fósil sólido, adaptado para reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil sólido mejorado por 50% o más; y

medios de transportación para mover el fósil sólido mejorado a los quemadores.

32. Sistema de conformidad con la reivindicación 33, caracterizado además porque comprende medios de almacenamiento adecuados para almacenar una cantidad del combustible fósil sólido mejorado al menos igual al consumo diario de la planta de generación de energía.

33. Sistema para producir combustible fósil sólido mejorado para quemado en un proceso industrial, el sistema se caracteriza porque comprende

una planta de secado por EMR adaptada para reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil sólido mejorado por 50% o más; y

medios de almacenamiento adecuados para almacenar una cantidad del combustible fósil sólido mejorado al menos igual al consumo diario del proceso industrial.

34. Sistema de conformidad con la reivindicación 33, caracterizado porque el proceso industrial es generación de energía.

35. Sistema para producir combustible fósil sólido mejorado, caracterizado porque comprende una planta de secado por EMR adaptada para reducir el contenido de humedad inherente en el combustible fósil sólido mejorado por 50% o más, en donde la planta de secado por EMR se adapta al proceso uno de los siguientes: carbones de calidad inferior, esquisto bituminoso, arena bituminosa.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 07-020786- -00005-0000

Fecha: 2008-12-24 16:16:06 Dep. 2020 NUECREACION
Tra. 11 PATENTEIYII Eve: 378 FASENACIONALI
Act. 329 CTOINFORMACION Folios: 37

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 08 - 96,963
FECHA : DICIEMBRE 15 DE 2008

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
CAVELIER ABOGADOS	CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	102218944	15/12/2008	19,210,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT. RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1 50005-01-03 CAMBIO DE MODALIDAD Y MODIFICA	12 MARCAS Y LEHAS COMERCIALES	103,000.00
	TOTAL :	\$ 103,000.00

SON: CIENTO TRES MIL PESOS

RESPONSABLE : _____

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

060 15791-841-001-8

DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES

RADICACIÓN EXPEDIENTE No. 07-20786

EL EXTRACTO DE LA PRESENTE SOLICITUD DE **PATENTE DE INVENCION**

FUE PUBLICADO EN LA GACETA DE PROPIEDAD INDUSTRIAL No **593** DE

FECHA **27 DE JUNIO DE 2008** EL TÉRMINO HÁBIL SEÑALADO POR LA LEY

EXPIRA EL **24 DE SEPTIEMBRE DE 2008**

NOTA: Dentro del plazo de los seis (6) meses siguientes a partir de la fecha de publicación en la gaceta de Propiedad Industrial, deberá solicitar y cancelar el examen de patentabilidad so pena de que la solicitud caiga en abandono, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 44 de la Decisión 486/2000.

SE PRESENTARON OPOSICIONES POR PARTE DE TERCEROS.

SI _____

NO X

US 20070158174 07-20786
 2007-VII-121
 11/702054

no exam. aum

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY (Chapter I of the Patent Cooperation Treaty)

(PCT Rule 44bis)

Applicant's or agent's file reference 156766.8 IL	FOR FURTHER ACTION		See item 4 below
International application No. PCT/IL2004/001077	International filing date (<i>day/month/year</i>) 24 November 2004 (24.11.2004)	Priority date (<i>day/month/year</i>) 05 August 2004 (05.08.2004)	
International Patent Classification (8th edition unless older edition indicated) See relevant information in Form PCT/ISA/237			
Applicant MICROCOAL INC.			

1. This international preliminary report on patentability (Chapter I) is issued by the International Bureau on behalf of the International Searching Authority under Rule 44 bis.1(a).

2. This REPORT consists of a total of 7 sheets, including this cover sheet.

In the attached sheets, any reference to the written opinion of the International Searching Authority should be read as a reference to the international preliminary report on patentability (Chapter I) instead.

3. This report contains indications relating to the following items:

- | | | |
|-------------------------------------|--------------|---|
| ☒ | Box No. I | Basis of the report |
| ☐ | Box No. II | Priority |
| ☐ | Box No. III | Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability |
| ☐ | Box No. IV | Lack of unity of invention |
| ☒ | Box No. V | Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement |
| ☐ | Box No. VI | Certain documents cited |
| ☒ | Box No. VII | Certain defects in the international application |
| ☒ | Box No. VIII | Certain observations on the international application |

4. The International Bureau will communicate this report to designated Offices in accordance with Rules 44bis.3(c) and 93bis.1 but not, except where the applicant makes an express request under Article 23(2), before the expiration of 30 months from the priority date (Rule 44bis .2).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No. +41 22 338 82 70	Date of issuance of this report 06 February 2007 (06.02.2007)
	Authorized officer Simin Baharlou e-mail: pt09.pct@wipo.int

EL SUSCRITO SECRETARIO GENERAL
ADHUC HACE CONSTAR QUE LA

DETERMINACION DE LA COMISION
DE LA UNICA INSTITUCION DE LA

SECRETARIA GENERAL DE LA

PATENT COOPERATION TREATY

From the
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

REC'D 27 JUN 2005

PCT

PCT

To:

see form PCT/ISA/220

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY (PCT Rule 43bis.1)

Date of mailing
(day/month/year) see form PCT/ISA/210 (second sheet)

Applicant's or agent's file reference
see form PCT/ISA/220

FOR FURTHER ACTION
See paragraph 2 below

International application No.
PCT/L2004/001077

International filing date (day/month/year)
24.11.2004

Priority date (day/month/year)
05.08.2004

International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC
F23G5/46, F23G5/04, F23K1/00, C10L9/08

Applicant
LIVNEH, Ben Zion

1. This opinion contains indications relating to the following items:

- ☒ Box No. I Basis of the opinion
- ☐ Box No. II Priority
- ☐ Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- ☐ Box No. IV Lack of unity of invention
- ☒ Box No. V Reasoned statement under Rule 43bis.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- ☐ Box No. VI Certain documents cited
- ☒ Box No. VII Certain defects in the international application
- ☒ Box No. VIII Certain observations on the international application

2. FURTHER ACTION

If a demand for international preliminary examination is made, this opinion will usually be considered to be a written opinion of the International Preliminary Examining Authority ("IPEA"). However, this does not apply where the applicant chooses an Authority other than this one to be the IPEA and the chosen IPEA has notified the International Bureau under Rule 66.1bis(b) that written opinions of this International Searching Authority will not be so considered.

If this opinion is, as provided above, considered to be a written opinion of the IPEA, the applicant is invited to submit to the IPEA a written reply together, where appropriate, with amendments, before the expiration of three months from the date of mailing of Form PCT/ISA/220 or before the expiration of 22 months from the priority date, whichever expires later.

For further options, see Form PCT/ISA/220.

3. For further details, see notes to Form PCT/ISA/220.

Name and mailing address of the ISA:



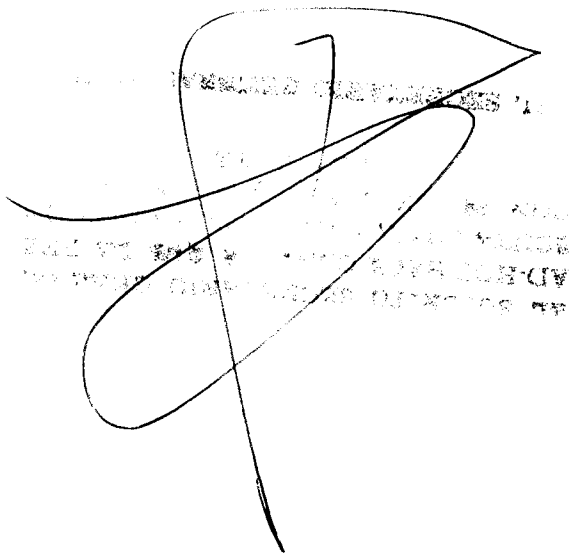
European Patent Office
D-80298 Munich
Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d
Fax: +49 89 2399 - 4465

Authorized Officer

Coquau, S

Telephone No. +49 89 2399-6953





**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY**

International application No.
PCT/IL2004/001077

Box No. I Basis of the opinion

1. With regard to the **language**, this opinion has been established on the basis of the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.
 - ☐ This opinion has been established on the basis of a translation from the original language into the following language , which is the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rules 12.3 and 23.1(b)).
2. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application and necessary to the claimed invention, this opinion has been established on the basis of:
 - a. type of material:
 - ☐ a sequence listing
 - ☐ table(s) related to the sequence listing
 - b. format of material:
 - ☐ in written format
 - ☐ in computer readable form
 - c. time of filing/furnishing:
 - ☐ contained in the international application as filed.
 - ☐ filed together with the international application in computer readable form.
 - ☐ furnished subsequently to this Authority for the purposes of search.
3. ☐ In addition, in the case that more than one version or copy of a sequence listing and/or table relating thereto has been filed or furnished, the required statements that the information in the subsequent or additional copies is identical to that in the application as filed or does not go beyond the application as filed, as appropriate, were furnished.
4. Additional comments:

**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY**

International application No.
PCT/IL2004/001077

Box No. V Reasoned statement under Rule 43bis.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Yes: Claims	
	No: Claims	10,16-18,22-24,26-29,33,35
Inventive step (IS)	Yes: Claims	
	No: Claims	30,31,34
Industrial applicability (IA)	Yes: Claims	1-35
	No: Claims	

2. Citations and explanations

see separate sheet

Box No. VII Certain defects in the international application

The following defects in the form or contents of the international application have been noted:

see separate sheet

Box No. VIII Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

see separate sheet

**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING
AUTHORITY (SEPARATE SHEET)**

International application No.

PCT/IL2004/001077

1. Reference is made to the following documents:
 - D1: US-A-5 335 425 (TOMIZAWA ET AL) 9 August 1994 (1994-08-09)
 - D2: US-A-4 259 560 (RHODES ET AL) 31 March 1981 (1981-03-31)
 - D3: WO 97/07185 A (SPEAR, CHARLES, E) 27 February 1997 (1997-02-27)
 - D4: US-A-4 280 033 (WAGENER ET AL) 21 July 1981 (1981-07-21)
 - D5: US-B1-6 167 636 (KEPPLINGER LEOPOLD WERNER ET AL) 2 January 2001 (2001-01-02)

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

2. The present application does not meet the criteria of Article 33(1) PCT, because the subject-matter of claims 10,16-18,22-24,26,27,29,30 is not new in the sense of Article 33(2) PCT. Some of the above stated claims suffer from a lack of clarity which implies the lack of novelty (see Re Item VIII below).
- 2.1 Claims 10,16-18,22-24,26:

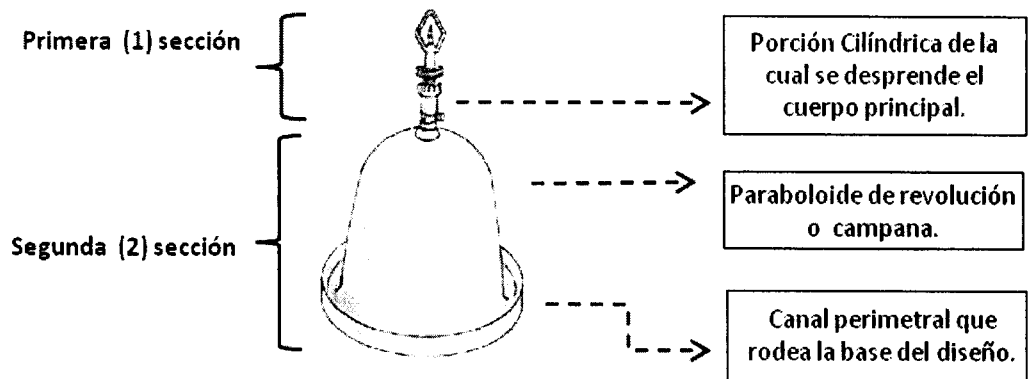
The document D1 discloses (see Fig.1 and 2, col.3 lines 30-58, col.4 lines 40-46, col.9 line 42 to col.10 line 33; the references in parentheses applying to this document) a method of upgrading solid fossil fuel by electromagnetic radiation (microwave oscillator) wherein the inherent moisture content in the said upgraded fuel is reduced by 50% (moisture content before upgrading:70 to 80%; moisture content after upgrading: 20%).

Independently thereof the documents D2 and D3 disclose a method of upgrading solid fossil fuel by electromagnetic radiation with all the method steps of claim 1 (see D2, col.1 lines 47-60; see D3, claims 1 and 17, page 1 paragraph 2, page 6 last paragraph to page 7 paragraph 2).

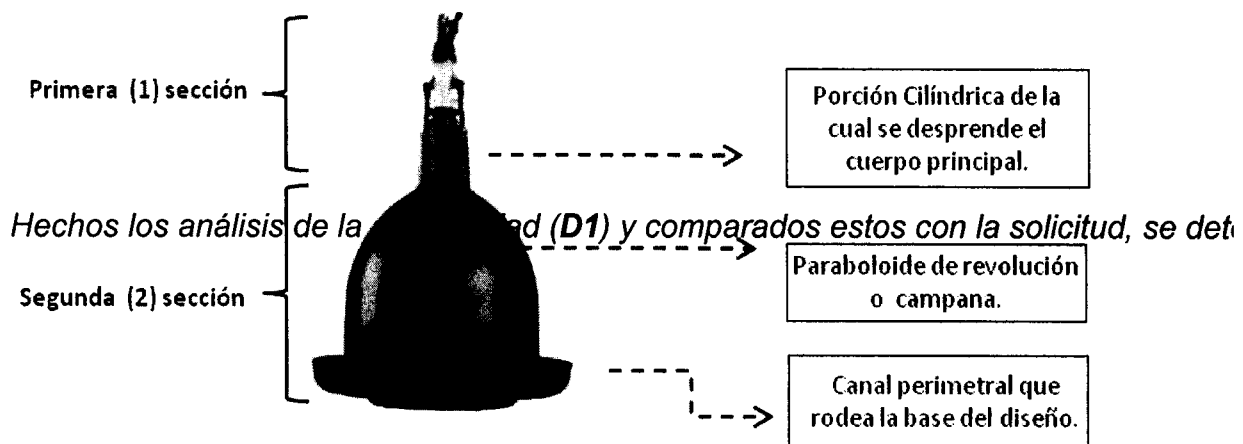
D3 discloses also a method according to claims 16,17,24 (see page 5 paragraph 6 to page 6 paragraph 3).

D2 and D3 disclose also a method according to claim 22 (see D2, claim 6; see D3 page 5 last paragraph to page 6 first paragraph)

- Diseño Solicitado: “Bebedero colgante para aves”



- Anterioridad: D1



Se trata de diseños que comparten formas similares, tales como ser un cuerpo tridimensional que presenta dos (2) secciones diferentes; presentar la primera sección en el extremo superior del diseño, la cual dispone de una porción de cilindro de la cual se origina el cuerpo principal del diseño; presentar a modo de cuerpo principal un paraboloide de revolución o campana con base circular; y contar con un canal perimetral rodeando la base en cuestión.

Se presentan **Diferencias secundarias** entre el diseño solicitado y D1 en cuanto a la porción superior de la primera sección en el diseño solicitado.

En efecto, al cotejar las dos formas, estas presentan los mismos detalles geométricos de diseño, como ya se describió, sin que haya un aporte sustancial en sus líneas que lo diferencien del antecedente, es decir, la forma del diseño es similar en su totalidad siendo las similitudes relevantes por sobre las diferencias encontradas. Se concluye que tanto el diseño solicitado como el antecedente presentan

**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING
AUTHORITY (SEPARATE SHEET)**

International application No.

PCT/IL2004/001077

D1, D2 and D3 disclose also a method according to claim 18,23 (see D1, col.3 lines 30-58; see D2, col.3 line 50 to col.4 line 8; see D3 page 6 paragraph 3).

2.2 Claims 27,28,29,33,35:

D3 disclose also a method according to claims 27 and 35 (see page 1 paragraph 1, page 5 paragraph 6, page 6 paragraph 3).

D4 discloses a method according to claim 29 (see Fig.1, col.3 lines 16-30 and lines 54-58).

D1, D2 and D3 disclose also a method according to claims 28,33 (see above § 2.1; any system for producing upgraded solid fossil fuel comprises storage means to store said upgraded fuel before further handling in an industrial processing plant).

3. The present application does not meet the criteria of Article 33(1) PCT, because the subject-matter of claims 30,31,34 does not involve an inventive step in the sense of Article 33(3) PCT (see D4, disclosing a power generation plant comprising an EMR frying plant, and any of D1-D3 in combination (known to use an EMR drying process for reducing the inherent moisture content of a solid fuel by at least 50%)).

Re Item VII

Certain defects in the international application

4. The units employed on page 19 table 2 are not recognized in international practice generally used, contrary to the requirements of Rule 10.1(d) PCT.
The present expressions should, however, be retained in parentheses after the replacement expressions.

Re Item VIII

Certain observations on the international application

5. Claim 30 should refer to claim 29 (and not to claim 31) and claim 31 should refer to claim31 (and not to claim 33).

*contundentes similitudes no solo a nivel general, sino también en sus formas más características, logrando así que ambos diseños se perciban como **MUY** similares.*

Por lo anteriormente descrito, entre el diseño solicitado y la anterioridad existe igualdad de forma, disposición y proporción en los aspectos ya mencionado, haciendo posible determinar la falta de novedad.

*De acuerdo a lo estipulado en el **art. 115 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina**, el diseño **NO** presenta las características de objeto novedoso.*

En consecuencia y por lo expuesto anteriormente, se recomienda **Negar** el privilegio solicitado para las figuras **01 y 02** contenidas en los folios **07 y 08** y las figuras **04 y 05** contenidas en el folio **09**.

**Bogotá, D. C.,
Junio 05 de 2009.**

CONCEPTO TECNICO No. 1814	EXAMINADOR TECNICO Código No.202091
-------------------------------------	---

**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING
AUTHORITY (SEPARATE SHEET)**

International application No.

PCT/IL2004/001077

6. Although claims 1,10,26,27,28,29,31,33,35 have been drafted as separate independent claims, they appear to relate effectively to the same subject-matter and to differ from each other only with regard to the definition of the subject-matter for which protection is sought. The aforementioned claims therefore lack conciseness and as such do not meet the requirements of Article 6 PCT.

Should the applicant draft a new set of amended claims, it would appear appropriate to file an amended set of claims defining the relevant subject-matter in terms of a single independent claim in each category followed by dependent claims covering features which are merely optional.

7. The application does not meet the requirements of Article 6 PCT, because claims 10,13-15,19,28 and 34 are not clear.
- Claims 10,13-15,19,28 relate to a method of upgrading solid fossil fuel. Or the last method step in claim 10 and 28 as well as the ones in claims 13-16,19 refer more to a method of managing generated electric power which brings doubts concerning the matter for which protection is sought.
 - Claim 34: its subject-matter does not define the system for producing upgraded solid fuel per se but defines more the processing plant where the said upgraded solid fuel is further handled.

De la solicitud de Patente

Descripción (artículo 28 D. 486)

- La descripción de los folios 78 a 155 cumple con el requisito de claridad o comprensión.

Reivindicaciones (artículo 30 D 486)

- El capítulo reivindicatorio de los folios 265 a 272 según los requerimientos establecidos en el artículo 30 es claro y conciso y además está lo suficientemente sustentado por la descripción.

Unidad de invención (artículo 25 D 486)

- El capítulo reivindicatorio de los folios 265 a 272 cumple con el requisito de unidad de invención.

No es una invención (artículo 15 D 486 literal a)-f))

- El capítulo reivindicatorio de los folios 265 a 272 sí es una invención.

Excepción a la patentabilidad (artículo 20 D486 literal a)-d))

- El capítulo reivindicatorio de los folios 265 a 272 sí es patentable.

Reivindicaciones relativas a un uso o a un uso distinto (artículos 14 y 21 D 486)

- El capítulo reivindicatorio de los folios 265 a 272 sí es una invención.

Análisis de la(s) Oposición(es): (artículo 43 D. 486):

- No se presentaron oposiciones.

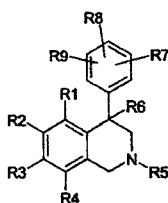
Determinación del Estado de la Técnica

Considerando que la fecha de presentación de la primera solicitud de patente de la cual se reivindica prioridad es 24-03-2003, se consultaron las bases de datos y los archivos con que cuenta la entidad con fecha de publicación anterior: No se encontró documento alguno que afecte la patentabilidad del objeto de la presente solicitud.

Análisis de patentabilidad (artículo 14 D486)

Novedad (artículo 16 D486)

Las reivindicaciones 1 a 4 se refieren a un Compuesto de fórmula I y composiciones que los contienen.



United States Patent [19]

[11] 4,259,560

Rhodes

[45] Mar. 31, 1981

[54] PROCESS FOR DRYING COAL AND OTHER
CONDUCTIVE MATERIALS USING
MICROWAVES[76] Inventor: George W. Rhodes, 7921 Hendrix,
NE., Albuquerque, N. Mex. 87110

[21] Appl. No.: 835,276

[22] Filed: Sep. 21, 1977

[51] Int. Cl.³ H05B 6/64[52] U.S. Cl. 219/10.55 M; 34/1;
34/4; 44/10 J; 219/10.55 A[58] Field of Search 219/10.55 A, 10.55 M,
219/10.55 R; 34/4, 1; 44/10 E, 10 J

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,446,929	5/1969	Smith	219/10.55 A
3,463,310	8/1969	Ergu et al.	
3,555,693	1/1971	Futer	219/10.55 A

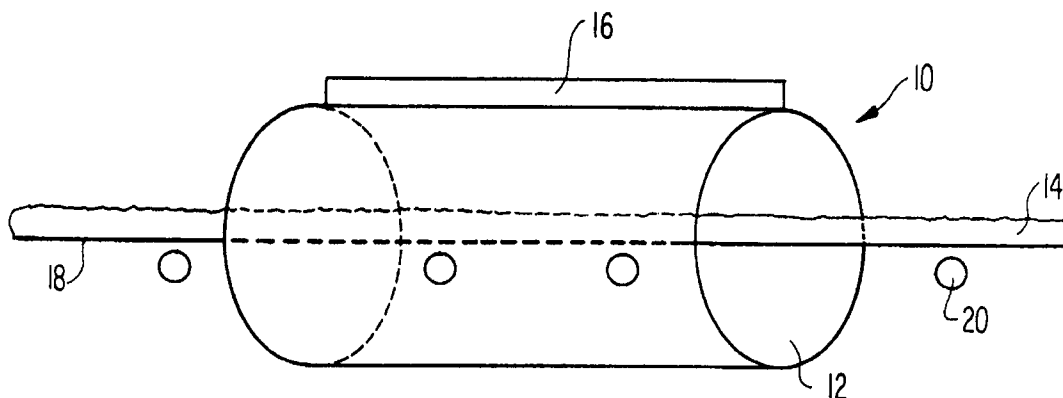
3,560,347	2/1971	Knapp et al.	219/10.55 A
3,704,523	12/1972	Guerga et al.	219/10.55 A X
3,953,703	4/1976	Hurwitt	219/10.55 M
4,045,638	8/1977	Chiang et al.	219/10.55 A
4,045,639	8/1977	Meisel	219/10.55 M X
4,065,361	12/1977	Hanson	219/10.55 A X
4,147,911	4/1979	Nishitani	219/10.55 M

Primary Examiner—Arthur T. Grimley
Attorney, Agent, or Firm—Ronald R. Snider

[57] ABSTRACT

A process for drying a conductive material, particularly coal, by subjecting the material to microwave energy is disclosed. A conductive aggregate is directed through a region where microwave energy excites absorbed water molecules and the conductive material causing the water to evaporate, leaving behind a drier material.

10 Claims, 2 Drawing Figures



PROCESS FOR DRYING COAL AND OTHER CONDUCTIVE MATERIALS USING MICROWAVES

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field Of The Invention

The present invention relates to a process for drying conductive material, particularly coal particles and coal fines, using microwave energy. In accordance with the present invention, a fine powdery coal aggregate is dried without using intensely heated gases and risking igniting the fine aggregate.

2. Discussion Of The Prior Art

In the prior art, microwaves have been used to dry and dehydrate non-conducting materials, such as food products. These microwave techniques depend on the presence of polar molecules to induce the heating effect. This is known as dielectric heating. As microwaves pass through the material to be heated, polar molecules, such as water molecules, vibrate rapidly as they attempt to align themselves with the constantly changing electric field in the microwave. When a wet conductive material is subjected to microwave radiation, the water molecules are caused to vibrate in the same way they are caused to vibrate with non-conducting materials. However, microwave radiation of conductive materials is accompanied by an additional effect which has led those skilled in the art away from using microwaves to dry conductive material. When a conductive material is subjected to microwave radiation, the atoms which make up the material absorb and conduct the microwave energy so efficiently that arcing can occur, thus igniting the material to be dried, resulting in damage to the product. Unlike non-conducting materials the atoms of which are transparent to microwave radiation, the atoms of conductive materials are more susceptible to the production of free electrons which can be induced by microwave radiation. This enables arcing to occur. Consequently, one skilled in the art would not expect microwaves to be useful in drying conductive materials since the arcing phenomena would be expected to occur, thus rendering the process useless. I have discovered that by reducing the size of conductive particles like coal, I can prevent arcing and thereby dry the material using microwaves.

The application of microwave technology to drying coal has special advantages. After mining, metallurgical coal is pulverized into small particles and passed through a washing plant to remove both ash and sulfur. Subsequently, the aggregate is centrifuged to remove the wash water. After centrifuging, the coal still contains about 15% absorbed water which must be removed before the coal can be used for coking for which the water content must be on the order of 6% or less. Consequently, the coal particles must be dried further and following standard technology this means that intensely heated gases from an electrical or gas furnace are blown through the fine particles in a fluidized bed treatment.

There are several disadvantages to drying coal using intensely heated gases. A source of intensely heated gases must be provided, and this requires large volumes of air and a furnace of some type. Additionally, about 20% of the aggregate ends up at a size less than 28 mesh. The small size of this fraction aggravates the drying process. As heated gases are blown through the aggregate, the powdery material is picked up by the gases.

Unlike the larger particles, the powdery materials create a dust problem. The powdery materials do not settle easily and they tend to coat the inside of the drying apparatus, as well as to be carried out of the apparatus with the exhaust gases. Accordingly, for environmental reasons, special steps must be taken in the drying facility to remove the powder from gases and to contain the powdery material. In addition, the powdery material is extremely flammable. As the heated gases become saturated with the powder, a potentially dangerous condition develops where the slightest degree of overheating could ignite the powder and start an intense fire within the drying facility. Accordingly, the conventional drying must be carefully monitored to prevent the powder from igniting.

In accordance with the present invention, the foregoing disadvantages are overcome. First, the microwave drying facility is principally made up of a microwave generator, waveguides to direct the microwave beam, and a chamber or cavity where the beam irradiates the material to be dried. No furnace or large volume of heated gas is required to operate the microwave facility; however, heated air may be passed through the apparatus to assist in the removal of water vapor from the chamber. Since the material to be dried need not be bathed in the warm air, turbulent mixing is not necessary. Second, microwave energy is directed to the surface of the coal particles where the water is absorbed and consequently where the energy is most effectively used to drive the water from the coal. While the microwave drying process can be assisted by stirring the aggregate, again, it is not necessary to blow the aggregate around and create the dust problem which hampers the conventional technique. Finally, because the microwave energy can be directed to the surface of the coal particles, it is not necessary to generate the intense heat conditions which raise the risk of fire igniting the coal.

The following list of U.S. patents relates to microwave drying of non-conducting materials: U.S. Pat. Nos. 3,409,447, 3,432,636, 4,015,341 (grain and food products); 3,775,860 (timber); 2,483,623, 3,184,575, 3,771,234 (oil and polymer); 3,831,288, 3,997,388 (organic fertilizers); 3,528,179 (generally).

SUMMARY OF THE INVENTION

The primary object of the present invention is to overcome the problems which hamper conventional coal drying operations by using microwaves.

It is a further object of the present invention to dry a conductive material which has not conventionally been dried using microwaves by reducing the size of the conducting material such that arcing does not occur when microwaves are applied.

Another object of this invention is to dry coal particles using a form of energy which can be directed to the surface of the coal particles where it is most effectively used to drive the water from the coal without igniting the valuable fine coal aggregate.

Another object of this invention is to dry conductive materials using a technology which does not waste energy on the surroundings, and costs but a fraction of the cost of existing systems to install and operate.

It is still another object of this invention to use microwave technology to heat concrete and conductive (inorganic) fertilizers.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a schematic diagram of an apparatus which may be used to practice the present invention.

FIG. 2 is a schematic diagram of another arrangement which may also be used in accordance with the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

The present invention will be best understood upon consideration of the following discussion and detailed description of the drawings.

This application is directed primarily to drying coal particles. However, the invention disclosed herein is suitable for drying a variety of conducting materials, such as concrete and inorganic fertilizers. In accordance with the present invention, a conductive material is dried without arcing by making the particle size of the material small enough that arcing does not occur. As pointed out above, conductive materials, unlike non-conducting materials, are not transparent to microwaves. They can conduct the microwave energy so efficiently that in the microwave cavity one experiences an inhomogeneous field as a result of cavity modes and intense spots can occur which, if of sufficient distance and conductivity, will create surface breakdown or arcing. I describe that conductive distance as a mean free path for arcing. In order to use microwaves to dry coal or other conductive aggregates, the size of the coal must be maintained less than the mean free path for arcing—i.e., small enough that arcing does not occur at the incident microwave power. This maximum size for the particle can be determined quite readily on a trial-and-error basis by making a series of pilot runs. I have found that it is practical and desirable to dry coal particles which are less than about 1 inch in diameter using microwaves at 915 MHz. At 2450 MHz, one would expect the maximum size for the coal to be slightly smaller. Again, this can be readily determined by making a trial run.

While the arcing phenomena is a function of both conductance of the material to be dried and incident power, economic practicality dictates that one apply as much power as possible in a small volume to facilitate ease of handling and minimum capital investment. Accordingly, as a practical matter, one will apply as much power as is possible to a given size aggregate without causing arcing to occur.

It is also clear that the present invention can be used to dry materials which are wetted with liquids other than water. Generally, any polar liquid can be dried by this type of microwave heating up to its ignition temperature. As indicated above, in order to evaporate water or any solvent, either the solvent molecule itself must absorb microwaves or heating must occur at the interface of the particle and the absorbed wetness.

The term "microwaves" as it is used throughout this specification means electromagnetic radiation at about 800 to 2500 MHz. Practically speaking, however, only two frequencies, 915 MHz and 2450 MHz, will be used since these are the only two frequencies allotted by the Federal Communications Commission for commercial heating.

The intensity of the microwaves can also be adjusted for the moisture content of the material to be dried. For example, if coal is on the relatively wet side, e.g., contains 20% absorbed water, and it is desired to dry the

material completely, a microwave intensity of 10 w/cm² may be used. Of course, a lower intensity can be used with an accompanying increase in drying time. If the coal is relatively dry, e.g., 10% absorbed water, or if it is not desired to dry the material completely, 1 w/cm² intensity may be used. Similar parameters can be determined for other conducting materials and wetting liquids on a trial-and-error basis.

One feature of this invention is that the intensity of the microwave may be controlled to regulate the water content of the "dried" material in real time. In one embodiment of my invention, I provide an infrared detector which is used to measure the amount of water in the microwave cavity. The information supplied from this detector may be fed back to the microwave generator and used to adjust the intensity of the microwave. A laser diode operating on an infrared absorption band of the water molecule strikes the surface of the aggregate, thus scattering the radiation. An optical detector then measures the amount of water present and feeds the information to a microprocessor. This microprocessor is programmed to switch on or off the microwave sources as required to maintain the programmed amount of water.

Any conventional means of generating microwaves, such as magnetrons or klystrons, may be used in this process. The microwaves so generated are directed to the cavity where they are absorbed by the conducting material using one or more wave guides in a manner well known in the art.

The present invention will be further understood by reference to FIG. 1 where apparatus 10 comprises a microwave cavity 12 where coal particles 14 (or other conductive aggregate) are dried by microwaves directed to cavity 12 by wave guide 16. The coal particles are carried to cavity 12 by means of conveyor belt 18 which rides on rollers 20. The conveyor belt and the rollers, as well as any other body passing through the microwave cavity (outside of the material to be dried) should be constructed of, but is not restricted to, a material which does not absorb microwaves in the range transmitted by the microwave source in a manner consistent with well-known microwave engineering. The microwaves are generated by a conventional generating means not shown in the figure. The coal is conveyed into the cavity where it remains until it has reached the level of dryness desired. Because the particles dried in accordance with the present are conductive, care must be taken that the particles are not too large a size that arcing occurs within the microwave cavity.

In FIG. 2, apparatus 30 comprises a vertically disposed cylindrical microwave cavity 32 having a centrally located microwave source 34. Coal particles enter the cavity via inlet 38 where they are dried as they fall freely past microwave source 34 and exit the cavity via outlet 40.

A suitable moisture content detector may be positioned in the microwave cavity so as to detect the moisture content of the aggregate. One such moisture detector particularly suited for measuring the moisture content of coal particles is the infrared detector discussed above.

In addition, a vacuum may be provided to assist in evaporation of the water and removal of the steam generated by the microwave treatment. The design of the apparatus illustrated in FIG. 2 is particularly well suited for application of a vacuum. Air may be circu-

5

lated or blown through the cavity to assist in removing evaporated water.

Furthermore, the apparatus may be equipped with a means for stirring the aggregate while it is in the microwave cavity. Microwave beams penetrate the aggregate to a depth which depends on the species being irradiated. This depth is not always sufficient for the microwaves to reach all the aggregate within the cavity. The process can be assisted by paddles or equivalent means for stirring the aggregate and renewing the surfaces exposed to the microwave radiation. Of course, the paddles, like the conveyor belts and rollers, should be constructed of a material which does not absorb in the wave length region of the microwave source.

An optimization of the microwave power with a heated air mass can also be made. The clean water obtained from the aggregate can be returned to a washing facility. In a conventional drying plant, this could not be done because the water is contaminated with sulfur particles.

While the invention has been described in detail with reference to specific embodiments thereof, it will be apparent to one skilled in the art that various changes and modifications can be made therein without departing from the spirit and scope thereof.

I claim:

1. A process for removing a polar liquid from a conductive aggregate, wherein said conductive aggregate is of the type which is susceptible to the production of

6

free electrons which can be induced by microwave radiation, comprising the steps of:

(a) reducing the size of the said conductive aggregate into fine particles which are smaller than the mean free path required to support arc formation at a predetermined microwave power level;

(b) subjecting said conductive aggregate to said predetermined microwave radiation, whereby said polar liquid is removed due to the motion induced in said liquid by said microwaves.

2. The process of claim 1 wherein said polar liquid is water.

3. The process of claims 1 and 2 wherein said conductive aggregate is coal.

4. The process of claim 1 further including the step of circulating air in the region of the conductive aggregate to assist in removing evaporated polar liquid.

5. The process of claim 1 wherein said predetermined microwave power level is within the range of one to ten watts per centimeter squared.

6. The process of claim 1 wherein said particle diameter is less than one inch.

7. The process of claim 1 wherein said conductive aggregate is coal of an average diameter, less than one inch, and said polar liquid is water.

8. Process of claim 1, 2 and 5 wherein said conductive aggregate is not transparent to microwaves.

9. The process of claim 1 wherein the conductive material is concrete.

10. The process of claim 1 wherein the conductive material is a conductive fertilizer.

* * * * *

35

40

45

50

55

60

65

PCTWORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION
International Bureau

INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification ⁶ : C10G 1/04	A1	(11) International Publication Number: WO 97/07185 (43) International Publication Date: 27 February 1997 (27.02.97)
(21) International Application Number: PCT/US96/13204 (22) International Filing Date: 2 August 1996 (02.08.96) (30) Priority Data: 60/002,211 11 August 1995 (11.08.95) US (71)(72) Applicant and Inventor: SPEAR, Charles, E. [US/US]; 3 Ames Circle, Houston, TX 77024 (US). (74) Agents: KIMBALL, Albert, B., Jr. et al.; Pravel, Hewitt, Kimball & Krieger, 10th floor, 1177 West Loop South, Houston, TX 77027-9095 (US).		(81) Designated States: AU, CA, DE, GB, PL, US. Published <i>With international search report. Before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of the receipt of amendments.</i>
(54) Title: STABILIZATION OF LOW RANK COALS AFTER DRYING (57) Abstract A method of increasing the utility of low rank coal of high moisture content by stabilizing essential physical properties of the coal, following its drying by known methods, which without stabilization render it unsuitable for transportation and storage. The method employs controlled partial pyrolysis in a continuous flow configuration, using electromagnetic energy in novel ways. The stabilization can be carried out by this method at the very high rates required for commercial coal operations.		

STABILIZATION OF LOW RANK COALS AFTER DRYING

Coal occurs in a multitude of forms in many areas of the world as the product of geologic processes well known and amply described in published sources. For purposes of discussion, those forms are often termed peat, brown coal, lignite, subbituminous coal, bituminous coal and anthracite coal in ascending rank of fuel value or heat content. Those from peat upward in rank through subbituminous coal are conventionally regarded as low rank coals.

One important characteristic of most low rank coals is water content, which can range typically from 90% for peat to 40-60% for brown coal to 25-45% for lignite to 15-35% for subbituminous coal. The dominant use for all ranks is as a fuel.

The fuel values of low rank coals rise significantly as water content is reduced. The costs of transporting them decrease accordingly. If they can be dried economically, with other characteristics desirable in the marketplace retained or restored, they can be of interest to a substantially broader market.

Consequently, serious efforts were being made in the 1920s and earlier to devise economical ways to eliminate water from brown coals and lignites. Perhaps the earliest process to reach commercial status was the Fleissner process, described in U.S. Patents No. 1,632,829 and 1,679,078. The Fleissner process employed high pressure steam to remove water from low rank coals. It has been effective on some such coals and has had limited commercial use since 1927. Many other processes with similar objectives have been proposed in the meanwhile.

A publication, "The Science of Victorian Brown Coal: Structure, Properties, and Consequences for Utilization," edited by Dr. R. A. Durie, provides a significant current review of such technology and its application. It contains a comprehensive summary of available knowledge and experience in processing low rank coals and in developing improved methods for their utilization. While the publication is nominally focused on the brown coals of Australia, it incorporates low rank coal technologies and data from worldwide sources and is an authoritative measure of the prior art through 1990.

In the fuels marketplace, the as-mined properties of the available low rank coals are generally known and accepted. If such coals are to be dried and sold commercially, it is generally necessary that the dried products be at least comparable in density and in moisture reabsorption, handling, grinding and combustion properties and have no more tendency to self-ignition. Establishing these characteristics in dried coals has been generally referred to as stabilization.

While some processes of the prior art have demonstrated limited success or allude to being close to more general success in doing so, their cost effectiveness has been limited. Generally, the processes have been applied to a small number of low rank coal drying operations which are old in concept and which, with few exceptions, are carried out where the product is mined and used. In those latter instances, the processes are simple and the only expectation for the product is that it be dry enough for its intended use.

Problems involved in processing low rank coals, and of the prior art directed to their resolution, and of the limitations of that prior art are also reviewed in U.S. Patent No. 4,725,337. As that patent points out, batch operations for processing coals have existed on a large scale but have had recognized inadequacies. The difficulties and costs associated with processing coals at high temperatures (450°F to 1250°F) and high pressures (300 psig to 3000 psig) for periods of time varying up to fifteen minutes, even to sixty minutes, are also discussed.

More recently, attention has turned to drying technologies which can be operated at essentially atmospheric pressure and in a continuous flow mode. Those two features, were they to be developed successfully together and yield a product stable enough for transportation and handling, could have the potential for economical operation and very large scale operation, both of which criteria are important measures of usefulness for fuel processing. The status of the principal drying technologies under development more recently, some incorporating stabilization as well, is reported in a publication of the United States Department of Energy (USDOE) dated September 1994, entitled "Third Annual Clean Coal Technology Conference: Technical Papers."

A process concept common to numerous coal drying and stabilizing technologies of the prior art is heating to pyrolysis temperature first the surface, then eventually much or even all of the coal substance in each coal particle in process. This has been done by hot oil, hot gases, hot water, heated coal or other heated solids, by radiant energy or by indirect heat transfer. The stated reasons for the necessity of utilizing that concept are numerous. They have included not only drying the coal, but also reduction of its moisture-reabsorption characteristic; simultaneous shrinkage to preserve coal density for economy in transport; minimization of loss of product by volatilization and by dust; and, very importantly, ensuring commercially acceptable handling, shipping and self-ignition characteristics.

The establishment of those qualities is termed "stabilization" of the low rank coals. The economic standard to be met by a stabilized product, much more difficult to accomplish with such a low-priced commodity as coal, is to process the coal at a cost less than the gain in value.

The great majority of processes for drying and, for some, also stabilizing low rank coals rely upon external heating of each coal particle for the energy to drive out the water and also to cause pyrolysis of the coal to start at the surface and work its way inward. Except for applications where product stability is not required, such as mine-mouth Fleissner or Perry operations, or where unique cost-price circumstances prevail, these have not produced commercially attractive products. The problems responsible for that lack of success include high temperatures and long processing times necessary to transfer heat from the surface to the interior of the coal particles, the losses of combustible components from the raw coal and the complex equipment and operations required. Capital contributions and tax advantages made available from public entities in the United States of America have enabled certain processes for drying and stabilization to be demonstrated on a minor commercial scale. However, the costs of such complex processes, exemplified by those described in considerable detail in the previously cited USDOE publication entitled, "Third Annual Clean Coal Technology Conference: Technical Papers," are clearly very high and their commercial application in an unsubsidized market has not occurred.

Drying of low rank coal by radio frequency or microwave energy has been demonstrated technically by several investigators who described the absorption of the energy by the water in the coal and reported the energy requirements. All of them contemplated evaporation of all of the water, with resultant investment levels and electrical energy demands which were clearly uneconomic. Significantly, all used relatively low microwave field intensities. Some have also mentioned in passing that a side effect existed of a deterioration of physical properties comparable to the results of most other drying processes, rendering the products similarly prone to crumbling, dusting, self-ignition, moisture reabsorption and bulk density problems. Moreover, none of their published reports proposed solutions to these problems.

Other investigators have employed microwaves as a way to pyrolyze coal for the purposes of char production, to generate gas and liquid products or to otherwise pyrolyze coal extensively.

So far as is known, the need for stable, economical dry low rank coal has not been satisfied by processes of the prior art

Briefly, with the present invention, it has been found that low rank coals can be subjected to electromagnetic energy in a manner to effectively stabilize them and form a resultant stabilized coal substance as an end product. The present invention employs electromagnetic energy of one or more electromagnetic field characteristics to generate heat within particles of low rank coal. Preferably, most of the original water content of the low rank coal has been removed by some suitable conventional technique which does not irreversibly degrade the physical structure of the

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

coal. The low rank coal substances after drying are then partially altered by the electromagnetic energy in a novel way, preferably in a continuous flow of such particles, to effect the desired stabilization. This stabilization occurs as a result of controlled heating by electromagnetic wave energy fields.

The present invention can be used to advantage to convert a low rank coal, whose water content limits its value, to a more marketable form. It has been found that the present invention serves to stabilize such a coal for use as a fuel, when such a coal after merely being dried would not be commercially acceptable as a fuel. So far as is known, there are no processes other than the present invention which can stabilize previously dried coal at comparable cost and yield. Application of electromagnetic energy to stabilize low rank coal particle according to the present invention occurs virtually instantaneously within a coal particle when it is exposed to electromagnetic fields. That result is obtained in contrast to slow heating from the surface inward obtained in the past with attendant problems, such resultant high surface temperature, steep thermal gradient and excessive pyrolysis of the first-heated coal substances.

For stabilization of the coal, prior drying typically is performed to reduce the moisture content of the coal in process below about 5%, the preferred level being dependent upon the composition and pore structure of the coal. An electromagnetic field in either continuous wave or pulsed mode can then be applied to the coal particles to eliminate the remaining free water and to create very high localized temperatures for very short periods of time within the coal. The bulk of the coal substance, of organic origin, is a relatively inefficient absorber of microwave energy. The high localized temperatures occur at sites in the coal where its properties permit selective absorption of the radiation, for example, at any site of residual moisture; on mineral components; at the surfaces of voids in the solid coal substances; wherever there is unique coupling of the electromagnetic energy with the substances in process; or in a plasma zone of any degree of ionization.

An effect of the localized heating according to the present invention is to alter the composition of enough coal substance to generate volatile and tarry organic materials, permitting them to move locally in the coal particles. Those materials in turn can react to form polymeric materials, pyrolytic carbon and potentially conductive pregraphitic forms of carbon. The amount of coal substance so altered, typically between about 0.2% and 2%, is small enough that the bulk temperature is normally less than about 150°C. The consequence is a stabilization of the mechanical properties of the coal through physical bonding, offsetting the weakening and fracturing and dust formation, which have been caused by methods of the prior art, and which in turn render the resultant products uncompetitive in the marketplace.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

The selection of optimum electromagnetic field characteristics depends to a considerable degree on the characteristics of each particular type or rank of coal to be processed. Those can be determined in part by experience with coals of similar geologic origin and history. A significant objective of the optimization process is to minimize the total energy absorbed by the coal particle in order to minimize the bulk temperature rise in the coal, the escape of volatile organic substances and the cost of processing.

An object of the present invention is to provide a new and useful process for stabilizing dried low rank coals in terms of moisture reabsorption, self-ignition tendencies and mechanical properties including density, friability and dust formation.

A specific object of this invention is to provide for carrying out all of its process steps in continuous flow modes at essentially atmospheric pressure, permitting large scale operations at minimum cost and with maximum reliability, safety and control.

A further object of this invention is to provide for selectively heating microwave-absorptive sites in low rank coal particles rapidly, while maintaining a low bulk temperature rise with the low energy consumption necessary for economical processing.

The term "low rank coals" is used, according to the present invention, in the same commonly accepted sense it is used in scientific, engineering, mining and commercial communications. Namely, the term is intended to denote the broad range of carbonaceous materials known variously as peat, brown coal, lignite and subbituminous coal. Such materials are found in many areas of the world, known by one name or another, with the nomenclature and classification systems often reflecting regional geologic history and regional customs. Peat must be dried to be useful as a fuel; its properties and problems are unique, and its water content must be reduced substantially by other conventional techniques before it can be processed according to the present invention.

The present invention can be used to advantage to convert a low rank coal, whose water content limits its value, to a more marketable form. It has been found that the present invention serves to stabilize such a coal for use as a fuel, when such a coal after merely being dried would not be commercially acceptable as a fuel. In the disclosure which follows, any such raw or processed fuel materials may, for convenience, be designated merely as "coal," or a "coal substance." Due to the wide variability of composition, dielectric properties and other characteristics of these materials from nature, the particular range of operating parameters selected for each such coal to be processed will of course be tailored to that type of coal.

A coal to be fed to the process of this invention is typically sized to pass through a screen with nominal one inch (25 mm) openings. That dimension may, however, be larger or smaller, as

preferred, to adapt the process to the frequencies of the electromagnetic energy to be employed and the dielectric and other properties of the particular coal. Furthermore, engineering considerations may favor separation of the feed coal into more than one fraction according to particle size. Each fraction may then be processed similarly but separately, and fine particles too costly to process may of course be eliminated prior to processing. However, the principles of operation of the process described below are in substance the same for any particle size.

The starting material or input for the preferred embodiment of the present invention is a continuous flow of a previously dried coal. The coal to be stabilized may be dried by a variety of known processes which retain its basic particle structure. Those processes variously employ direct or indirect heat exchange with fluids, gases or other solids as a source of energy, or radiant energy or electromagnetic energy or a combination of two or more such types of energy. Drying operations built or seriously proposed at present, so far as is known, contemplate coal throughput rates in the range of 100 to 500 tons per hour. Much higher rates would be advantageous from a commercial viewpoint. The capability of the process of the present invention to stabilize dried coal flows of such magnitude is an important feature.

During the stabilization process of the present invention, the dried coal is thereafter subjected to a radio frequency field at a frequency between about five megahertz (MHz) and 500 MHz or to a microwave field at a frequency between about 500 MHz and 30,000 MHz or to a succession of such electromagnetic fields. The choices of such field or fields and the number of successive applications of such energy depend primarily on the composition and dielectric properties of the coal and the product specifications which are to be met. The atmosphere surrounding the coal throughout its processing is kept low enough in oxygen content that neither the major coal particle stream nor the inevitable dust oxidizes sufficiently to be a fire or explosion hazard. It will also accordingly not allow significant carbon loss due to oxidation not conventionally identified as combustion. Preferably, the maximum oxygen content of the atmosphere is about 1% by volume, with levels as low as 0.2% more desirable.

As stabilization proceeds according to the present invention, the last post-drying traces of pore-bound water and interior-surface-bound water are vaporized, the coal shrinks and the affected interior and exterior surfaces are altered, irreversibly to a considerable extent. Interior heating causes a temperature-dependent degree of decarboxylation of coal substances, evolving carbon dioxide (CO₂). It is to be noted that the loss of CO₂ has no significant effect on the heating value of the product, since that carbon is fully oxidized in the raw coal state. The amount evolved is minor at the coal bulk temperatures of 50° to 150°C experienced in the preferred practice of this invention, rarely

over about 0.5% of the entering coal. However, the consequent elimination of hydrophilic sites in the coal is sufficient to render its surfaces effectively hydrophobic and to block many pores, restricting the rate of reentry and reabsorption of water and limiting it to an equilibrium moisture level ranging typically from 2% to 14%.

The term "equilibrium moisture" is conventionally accepted to be the moisture content of a dried coal after exposure to an atmosphere of air at 90% relative humidity at 30°C for three days, simulating adverse conditions of transportation and storage. Other test conditions of temperature, humidity or exposure time might be required for technical or commercial purposes. Taking a subbituminous coal with as-mined water content of 30% as an example, equilibrium moisture content of 2% would correspond to 95% water elimination; at 14%, the water elimination would be 62%. While individual fuel markets will have their own criteria for commercially acceptable moisture content of delivered coal, most will prefer the lowest available equilibrium level.

In the preferred embodiment of this invention, the water content of the coal is nearly eliminated before processing to obtain significant stabilization begins. As the coal moves continuously through the process system, it may optionally be preheated by a radio frequency field between 5MHz and 500 Mhz. Then, or initially if no preheating is needed or done, the coal enters a zone provided with one or more electromagnetic fields in succession in the microwave frequency range of about 500 to 30,000 MHz. The electromagnetic energy so applied may be either in continuous wave form or in pulses of five microseconds to 500 milliseconds duration at intervals from one cycle per second to 1000 cycles per second.

The innate variability of low rank coals requires that the wide range of electromagnetic field characteristics outlined above be considered to optimize an individual application of this invention. However, it is already evident from data well known to coal scientists that bulk coal temperatures above 150°C have caused rapid weight loss from the processing of such coals, for example, coals as different as the brown coals of Australia and the subbituminous coals of the Powder River Basin in Wyoming, U.S.A.

The intermittent exposure of the coal to such microwave fields, timed to control the peak and average temperatures and the heating rate within the coal, can be provided by well established pulse generation technology. The result can also effectively be created by the passage of the coal through continuous wave fields at a certain feed rate or can be the resultant product of both technologies in concert. Frequencies officially sanctioned for commercial and industrial use, 915 MHz and 2450 MHz, have been found effective in the practice of this invention. They are advantageous in the practical sense because (1) they pose no problems of interference with communications or other

applications of electromagnetic fields and (2) the technology for large scale microwave generation and use is well developed for both frequencies. Higher frequencies, while effective in stabilization, impose practical limitations, including attenuation and depth of penetration in the coal. The particular electromagnetic field characteristics chosen will, of course, vary according to the inherent properties of the coal, the response of the coal to the electromagnetic fields and the manner in which the coal is moved through these fields.

Microwave heating can generate enough organic liquids, tars and other pyrolysis products within the coal being processed to stabilize the mechanical and other physical properties of the coal at a level comparable to those of the raw coal, while retaining all but the most volatile substances within the coal particles to conserve its fuel value.

The temperatures required to form tars and various carbon forms cannot be measured directly in the practice of this invention but are well known from gasification, pyrolysis and coking technology to be in the range of 750°C to 1100°C and beyond.

The amount of coal substance so altered, typically between about 0.2% and 2%, is small enough that the bulk temperature is normally less than about 150°C. The consequence is a stabilization of the mechanical properties of the coal through physical bonding, offsetting the weakening and fracturing and dust formation, which have been caused by methods of the prior art, and which in turn render the resultant products disadvantageous in the marketplace.

The mechanical properties of primary interest which are stabilized by the process of the present invention are its resistance to breakage and resistance to dust formation in subsequent handling, shipping and storage operations. Other properties of the product which need also to be controlled include bulk density, resistance to self-ignition, resistance to reabsorption of moisture and resistance to swelling when any moisture is reabsorbed. These other properties are likewise stabilized by the process described above at levels comparable to those of the raw coal while the mechanical properties of primary interest are successfully maintained.

With the present invention, the foregoing improvements are achievable over the prior art. The particular methodology used for product comparison purposes may vary to some extent.

Methods of measurement of the properties of raw and dried and stabilized coal, developed over many years by coal scientists and fuel technologists, have been described in numerous publications. They provide standardized means of comparing the suitability of the products of this invention with other such products and with the raw coals from which they are derived. They are empirical in nature, but they permit an independent observer to evaluate processes and products for

the prospective user. A thorough review of the art has been published: Anderson, C.M., Reducing Moisture in Low Rank Coals: The Stability Issues, Trans. ASME 1994, 375-391.

Set forth below as Examples 1 and 2 below are illustrative results of practice of the present invention. By way of contrast, Example 3 below exemplifies undesirable effects of improper application of microwave energy in an attempt to achieve stabilization.

Example 1

A subbituminous coal from the Wyodak seam in the Powder River Basin, Campbell County, Wyoming was dried in air at 105°C to constant weight. The compositions before and after drying were approximately:

	Raw Coal	Dried Coal
Moisture	29%	1%
Ash	5%	7%
Heating Value (HHV)	8500 BTU/lb	11,000 BTU/lb
Volatiles	33%	40%
Particle Size	3/8" x 3/4"	3/8" x 3/4"

The dried coal was then heated in an oven at atmospheric pressure by a microwave field generated at 2450MHz in a series of pulses simulating movement of the coal through a continuous-flow processing system having a succession of continuous-wave fields. Twin magnetrons were energized by single-phase full-wave rectification. The moisture content of the product was essentially zero after 147 switched pulses of 1.67 seconds (100 line cycles) duration and an effective on-time of approximately 50%.

The product was first exposed to ambient air at 25°C and 60% relative humidity (r.h.), then to a humidity chamber atmosphere at 30°C and 95% r.h. The weight of moisture reabsorbed, effectively an "equilibrium moisture," rose with time and humidity, then fell when the product was placed in a lower-humidity environment:

	Moisture Content
Initial dry product	0%
after 12 hours at 25°C, 60% r.h.	6.0%
after 18 hours at 25°C, 60% r.h.	6.2%
after 36 hours (18-36 at 30°C, 95% r.h.)	7.6%
after 48 hours (36-48 at 20°C, 40% r.h.)	7.2%

The stabilizing effect of the microwave heating was evaluated on an empirical product integrity scale of one to five and found to be four in this example, a level comparable to the raw Wyodak coal which is shipped regularly in its undried state. The product integrity scale, recognizing durability and dusting propensity, is:

- 5 superior to raw coal in durability and dustiness
- 4 raw coal quality
- 3 product with some superficial hardness, but brittle
- 2 product which crumbles easily and progressively in handling
- 1 coal merely dried, with no meaningful stabilization

Example 2

The same dried coal was heated in a waveguide applicator at atmospheric pressure by a microwave field in a series of pulses following the same simulation concept of Example 1. A magnetron was energized by a medium-ripple 3-phase power supply delivering a 2450° MHz field with a peak-to-peak ripple variation of approximately 15%. The moisture content of the product was essentially zero after 40 pulses of 50 milliseconds. The bulk product temperature by surface measurement reached 71°C. The product integrity score of 4.5 was matched by companion tests with product surface temperatures of 68°C and 77°C.

Example 3

The same dried coal was heated in an oven at atmospheric pressure by a continuous-wave microwave field at 2450 MHz to investigate the nature and the rates of the transformations taking place in the coal. Prior observations of suddenly intense coupling of the field with the coal were confirmed, indicating an increasingly energy-absorptive environment within the coal and extensive devolatilization. A first application lasted 27 seconds before sudden decomposition. A second, immediately after that, lasted two seconds. The product, a char which could not be stabilized and

had no apparent value, confirmed the need for close control of the microwave fields to contain the transformation reactions within the coal particles.

In the microwave heating step, an electromagnetic field generates localized high temperatures within the coal substances, causing the formation and deposition of organic liquids, tars and other pyrolysis product. The mobilization and deposition of those substances within the coal contributes to the structural stability which is one of the main objects of the present invention. To minimize the escape of organic substances and consequent reduction of the coal's fuel value, it is necessary to minimize the total energy absorbed by the coal and thus the temperature rise of the coal. That is accomplished in most coals by generating the localized high temperatures which form the desired substances, employing brief exposure to electromagnetic energy of high intensity. The heat from localized energy absorption is dissipated to adjacent unheated portions of the coal substance being processed. Under such conditions essentially all of the mobile substances can be retained effectively within the coal being processed.

The preferred embodiment of this invention thus is to limit the bulk temperature rise by limiting the net electromagnetic energy absorbed by the coal in microwave heating to approximately 60 kilowatt hours (kWh) per ton of dry coal. The control is effected by selection of the frequency of the electromagnetic field, of its application in fields of optimum duration and interval, all as outlined above, with the objective of producing the necessary liquids, tars and other pyrolysis products while limiting the bulk product temperature to approximately 150°C. Operation at bulk temperatures up to 300°C, which may be required for optimum product stabilization of some coals, is an entirely acceptable option in the practice of this process, with recognition that the evolution of volatile organic materials from the coal particles may reach as much as of 10% of the dry coal feed versus a nominal 2% at 150°C and require processing to recover them as byproducts. The consequent energy requirement could then rise to approximately 120 kWh per ton of dry coal.

When the dried and stabilized coal leaves the zone of the final heating step, still in a continuous flow mode, it is cooled to less than 60°C and preferably stored in an atmosphere low enough in oxygen and moisture content to avoid self-ignition and moisture regain, utilizing conventional techniques of coal technology. Should recovery of the heat content of the coal be desired, it can also be realized through conventional engineering practice.

As has been recounted above, a preferred embodiment of the invention as presently contemplated by applicant has been described. The process is contemplated to differ from the prior art known to applicant in several important ways. First, it employs the virtually instantaneous energy transfer rate mechanisms of electromagnetic fields to make possible integrated multi-step

processing, in a continuous flow mode, on the large scale required for cost-effective coal drying and stabilizing. Second, it employs the unique temperature gradient created in a substance heated by electromagnetic fields whereby target sites in the interior of the substance can be heated as fast or faster than the surface. Those effects are important features for the practice of the present invention.

The stabilization of dried low rank coal by microwave energy according to the present invention also can be seen to include generation of small quantities of volatile and tarry hydrocarbon compounds and other pyrolysis products from the original coal substance without heating the bulk of the coal to a temperature where evolution of volatiles becomes significant. Additionally, the process of the present invention permits mobilization of such compounds to voids and surfaces within the solid coal particle. This accomplishes a reinforcing of the coal's structure against physical degradation, such as crumbling and dust formation, typical of other drying processes. The foregoing is achieved in addition to ensuring that other physical properties of the processed coal are at the levels of the raw coal or better.

Having described the invention above, various modifications of the techniques, procedures, material and equipment will be apparent to those in the art. It is intended that all such variations within the scope and spirit of the inventive concepts and features described above be embraced thereby.

We claim:

1. A method of stabilizing low rank coals to enhance their physical properties for use as fuel, comprising the steps of:
 - applying electromagnetic energy to dried particles of the low rank coals to cause partial pyrolysis of the naturally occurring substances within the coal particles;
 - allowing the products formed by partial pyrolysis to remain within the coal particles and bond the coal particles from within to thereby stabilize the low rank coal.
2. The method of claim 1, further including the step of:
 - initially pre-heating the low-rank coal particles with radio frequency energy.
3. The method of claim 1, wherein the low rank coal is composed of particles sized according to the frequency of the electromagnetic energy applied to cause partial pyrolysis of the coal particles.
4. The method of claim 1, wherein the low rank coal is composed of particles sized according to dielectric properties of the particular low rank coal particles to be processed.
5. The method of claim 1, wherein the products formed by partial pyrolysis during said step of applying electromagnetic energy include organic liquids.
6. The method of claim 1, wherein the products formed by partial pyrolysis during said step of applying electromagnetic energy include tars.
7. The method of claim 1, wherein the products formed by partial pyrolysis during said step of applying electromagnetic energy include polymeric materials.
8. The method of claim 1, wherein the products formed by partial pyrolysis during said step of applying electromagnetic energy include allotropic forms of carbon.
9. The method of claim 1, wherein the physical properties of the low rank coals enhanced during the stabilization thereof include resistance to breakage.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

10. The method of claim 1, wherein the physical properties of the low rank coals enhanced during the stabilization thereof include resistance to dust formation.
11. The method of claim 1, wherein the physical properties of the low rank coals enhanced during the stabilization thereof include resistance to self-ignition.
12. The method of claim 1, wherein the physical properties of the low rank coals enhanced during the stabilization thereof include resistance to moisture reabsorption.
13. The method of claim 1, further including the step of:
 - controlling the average bulk temperature of the low rank coal particles while electromagnetic energy is applied.
14. The method of claim 1, further including the step of:
 - controlling the oxygen content of the atmosphere surrounding the low rank coal particles as they are processed.
15. The method of claim 1, wherein the process is performed essentially at atmospheric pressure.
16. The method of claim 1, wherein the electromagnetic energy applied is at radio frequencies from about 5 MHz to about 500 Mhz.
17. The method of claim 1, wherein the electromagnetic energy applied is at microwave frequencies from about 500 MHz to about 30,000 Mhz.
18. The method of claim 1, wherein the field strength of electromagnetic energy applied is above about 5 watts/cm².
19. The method of claim 1, wherein the electromagnetic energy applied is in continuous wave form.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

United States Patent [19]

Wagener et al.

[11]

4,280,033

[45]

Jul. 21, 1981

[54] **PROCESS AND APPARATUS FOR THE THERMAL TREATMENT OF COAL**

[75] Inventors: **Dietrich Wagener; Horst Fach; Hayri Ergun**, all of Essen, Fed. Rep. of Germany

[73] Assignee: **Didier Engineering GmbH**, Essen, Fed. Rep. of Germany

[21] Appl. No.: **23,093**

[22] Filed: **Mar. 22, 1979**

[30] **Foreign Application Priority Data**

Mar. 22, 1978 [DE] Fed. Rep. of Germany 2812521

[51] Int. Cl.³ **H05B 6/78**

[52] U.S. Cl. **219/10.55 A; 34/1; 219/10.55 F**

[58] **Field of Search** 219/10.55 A, 10.55 R, 219/10.55 F, 10.55 M, 10.55 E, 10.71, 10.69; 34/1, 4

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,449,213	6/1969	Knapp et al.	219/10.55 A
3,560,347	2/1971	Knapp et al.	219/10.55 A
3,622,733	11/1971	Smith et al.	219/10.55 A

3,872,603	3/1975	Williams et al.	219/10.55 A
3,992,287	11/1976	Rhys	219/10.55 A X
4,045,639	8/1977	Meisel	219/10.55 A

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

1092861 11/1967 United Kingdom .

OTHER PUBLICATIONS

Aronov, S. G. *High-Frequency Heating of Coal*, The Engineers Digest, vol. 17, No. 4, Apr. 1956, pp. 133-135.

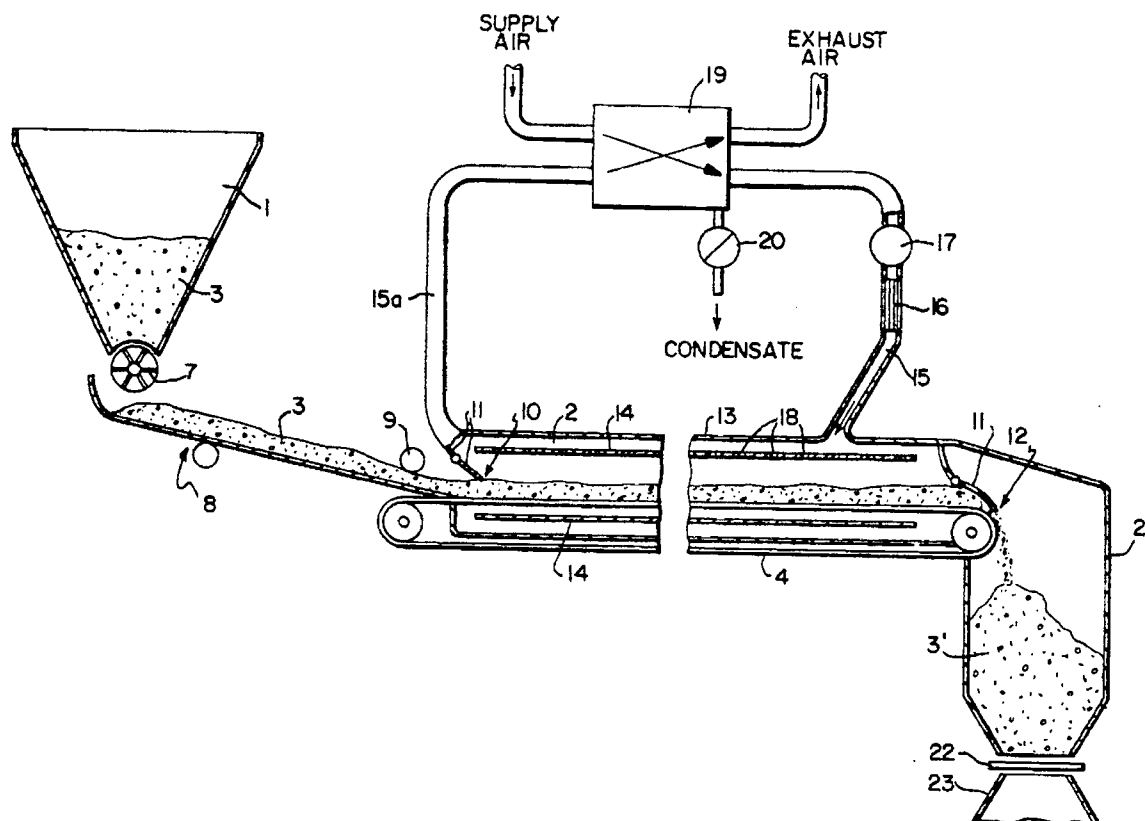
Primary Examiner—Arthur T. Grimley
Attorney, Agent, or Firm—Wenderoth, Lind & Ponack

[57]

ABSTRACT

Coal, particularly ground coal, is thermally treated at a treatment zone by exposing the coal to microwave radiation, preferably at a frequency of from 20 to 3,000 MHz. The treatment zone may be a system for forming the coal into pellets or briquettes. The treatment zone may also be an area between a coal supply bin and a furnace or oven for utilization of the coal, whereby the coal is dried and/or preheated before use in the furnace or oven.

15 Claims, 3 Drawing Figures



PROCESS AND APPARATUS FOR THE THERMAL TREATMENT OF COAL

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present invention relates to a process and an apparatus for the thermal treatment of coal, for example for the drying and/or preheating of ground coal, before the coal is introduced into a coking or gasification furnace or oven.

There are presently known various processes for drying and/or preheating ground coal before the charging thereof into a coking or gasification furnace or oven. However, such systems involve drying and/or preheating the coal in one or several flue flow tubes by means of hot gases. Thus, the systems for performing these known processes are very complex, and also these known processes require the availability of the necessary hot gases. An additional disadvantage of such known processes involves the fact that during the drying and/or preheating, there is generated very fine coal dust due to a reduction in the grain size of the coal during passage through the flue flow tubes, and the generation of such very fine coal dust presents a safety hazard due to the danger of explosion.

SUMMARY OF THE INVENTION

With the above discussion in mind, it is the primary object of the present invention to provide a novel process and apparatus for drying and/or preheating of coal, particularly ground coal to be charged into a coking or gasification furnace or oven, wherein it is possible to avoid the prior art disadvantages.

It is a further object of the present invention to provide such a process and an apparatus for drying and/or preheating coal by exposing the coal to microwave radiation.

It is a more general object of the present invention to provide a process and an apparatus for the thermal treatment of coal by exposing the coal to microwave radiation.

It is of course known to use microwave radiation for the defrosting, heating, cooking and baking of food in restaurants and homes, for the hardening of shaped elements of solid material to which aqueous bonding agents are added, for the sintering of melting of ceramic or fire-resistant products, and for the cementing of wooden edges. On the other hand, it is common knowledge that not all kinds of materials can be heated in a desired manner with microwave radiation, since the heat developed per unit of volume and per unit of time depends on the field intensity including the operational frequency on the one hand, and on the other hand, on the dielectric constant of the material involved.

It has however surprisingly been found that coal may be quickly dried and/or preheated by exposing the coal to microwave radiation, particularly microwave radiation at a frequency range of from 20 to 3,000 MHz.

Specifically, the coal, particularly ground coal, may be preheated and/or dried by passing the coal through a treatment zone while exposing the coal to microwave radiation.

The treatment zone may be in the form of a substantially enclosed chamber through which the coal is continuously passed by means of a conveyor, such as an endless conveyor belt. The coal may be exposed to microwave radiation by means of microwave electrodes, preferably in the form of plates, positioned on

opposite sides of the coal continuously passing through the enclosed chamber.

Also, the treatment zone may be in the form of an inclined chute having therein one or more inclined microwave electrode plates.

Also, the treatment zone may be in the form of a vertical bin with one or more vertical electrode plates extending vertically through the bin.

In accordance with a further feature of the present invention, the treatment zone may be a known system for forming ground coal into pellets or briquettes, and the coal may be exposed to the microwave radiation during such pelletizing or briquetting. This is advantageous since the microwave radiation produces, within a very short period of time, the necessary heat in the formed pellets or briquettes for softening of the carbon particles thereof.

The treatment zone may be designed as a waveguide or as a cavity or chamber resonator.

Air, particularly dry air, may be passed through the treatment zone or through the coal passing through the treatment zone to remove moisture from the coal, thereby facilitating the drying of the coal. The air may also be hot to prevent the recondensation of the moisture. Air that is introduced into the treatment zone may be withdrawn therefrom in the form of humid air. In a specifically advantageous feature of the present invention, the energy used for heating the air may be derived from energy losses of the electrical system employed for the production of the microwave energy.

The treatment zone may be a part of a specially designed treatment system, part of a conventional coal bin, part of a conventional weighing bunker, part of a conventional supply chute between a conventional coal bin and a conventional charging truck, part of a conventional charging truck, or part of a conventional charging shaft of a furnace or an oven.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Other objects, features and advantages of the present invention will be apparent from the following detailed description, taken with the accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is a schematic cross-sectional view of a first embodiment of the present invention;

FIG. 2 is a schematic cross-sectional view of a second embodiment of the present invention; and

FIG. 3 is a schematic cross-sectional view of a third embodiment of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

With reference now to FIG. 1 of the drawings, a first embodiment of the present invention will be described.

Ground coal 3 is discharged from storage bin 1, tapered downwardly in a funnel-like manner, through a discharge device 7, for example designed as a cell wheel lock, and is deposited across the entire width of a conveying device 8 in a preferably uniformly thick layer of ground coal. Conveying device 8 may preferably be in the form of vibrating troughs. Device 8 is inclined, and at the lower end thereof a distributing device 9 provides for a uniform thickness of the layer of coal directly before the coal 3 enters into a special treatment zone 2.

The treatment zone 2 is preferably in the form of a substantially enclosed chamber. Just before entering the inlet opening 10 of the treatment zone 2, the coal is

transferred onto an endless conveyor belt 4, the upper run of which extends through the treatment zone 2. The inlet opening 10 presents an opening which is just sufficient to permit entry of the layer of coal and the upper run of the belt 4. The inlet opening 10 is otherwise closed off to prevent the escape of microwave radiation, for example by means of flap 11 sliding on the coal layer, and by means of known band elimination filters (not shown), if necessary. The thickness of the coal layer may be, for example, approximately 100 mm.

Similarly, outlet opening 12 on the opposite end of treatment zone 2 has a flap 11 designed to limit the size of the outlet opening, and such outlet opening may also be provided with known band elimination filter (not shown), if necessary.

The treatment zone 2 is defined and surrounded by a casing 13 in which microwave electrodes, preferably in the form of electrode plates 14, are positioned on opposite sides of the coal layer. The coal layer and the upper run of belt 4 pass between the microwave electrode plates 14 at a desired speed to achieve the desired thermal treatment, for example at a speed in the range of between eight and twelve meters per minute. It will be apparent to those skilled in the art that the speed of the conveyor belt is dependent, inter alia, on the effective length of the treatment zone 2, on the humidity content of the coal to be treated, on the grain size of the coal to be treated, on the microwave intensity, and on the size of the gaps between the electrode 14 and the layer of coal.

The microwave field for the desired thermal treatment, for example drying and/or preheating of the coal, may be produced in an otherwise known manner, for example by means of a source (not shown) connected to the electrodes 14, and operating at a suitable voltage and frequency. For example, the voltage may be approximately 9,000 volts and the frequency may be approximately 2,450 MHz.

A ventilating duct 15 is connected to the interior of casing 13, and dry air, preheated by heating unit 16, is introduced into treatment zone 2 through duct 15 by means of a fan 17. Inlet openings 18 may be provided in the upper electrode plate 14 for the purpose of distributing the air flow over the layer of coal passing through the treatment zone. Thus, the dry air absorbs humidity or moisture from the surface of the coal layer at an end of the treatment zone 2, the humidity or moisture containing air is removed via duct 15a and is discharged as exhaust air after being passed through a humidity condenser 19. The resultant condensate may be collected as at 20. The heating unit 16 can be operated utilizing heat resulting from energy loss of the electrical system for the production of the microwave radiation (not shown).

From the outlet opening 12, the dried and possibly preheated coal 3' is discharged into a hot coal bin 21 from where it is supplied in a customary manner, for example through a gate valve 22 and a weighing bin 23, to a coking or gasification furnace or oven (not shown).

With reference now to FIG. 2 of the drawings a second embodiment of the invention will be described.

In this embodiment of the present invention, the treatment zone is in the form of an inclined supply shaft or chute 5 having therein a plurality of microwave electrode plates 24 which are also inclined to be substantially parallel to the inclined surfaces of the chute 5 and to thereby divide the interior of the chute into a plurality of inclined channels. The coal is supplied into the open upper end of the chute 5 and passes downwardly

in inclined paths through the chute while being exposed to microwave radiation from the electrode plates 24.

The supply chute 5 can be arranged at any convenient position between a conventional coal bin containing a supply of humid or moist coal and a conventional coking or gasification furnace or oven, i.e. at any position along the coal path between such bin and furnace or oven.

In the position illustrated in FIG. 2, the supply chute 5 is located between a coal bin 25 which is provided at the lower end thereof with a discharge device 26 and, for example, a charging truck 27. The lower, outlet end of chute 5 is provided with a discharge device 28 to remove the dried and possibly preheated coal at a desired speed. Such discharge speed will of course determine the speed of passage of the coal through the microwave field within the chute 5.

A flow of blast air 29 can be made to pass over the open upper end of the supply chute 5 to remove humidity from the coal therein. However, if necessary, such air flow can also be provided along the inner walls of the chute 5 by providing, for example, a screen insert with the required narrow mesh size in the chute 5.

Also, air nozzles, for example in the form of perforated tubes 30, may be located at the lower edges of the electrode plate 24 and at the lower end of the uppermost inclined wall of the chute 5. Dry air may be discharged from perforated nozzle tubes 30 to thereby cause air to flow in upwardly inclined paths through the coal and along the lower inclined surfaces of the electrode plates 24 and the lower inclined surface of the uppermost inclined wall of the chute 5, as indicated by arrows 31. Such air flows will act to remove moisture from the coal. The air flowing through perforated nozzle tubes 30 may also be hot air to prevent recondensation of the moisture.

With reference now to FIG. 3 of the drawings, a third embodiment of the present invention will be described.

In this embodiment of the invention, the treatment zone is in the form of a conventional coal bin 6 which extends substantially vertically and which has an open upper end for the introduction of moist coal and a lower end closed by a discharge device 35 for discharging dried and/or preheated coal from the bottom of the bin.

The moist coal is dried and/or preheated by exposing the coal to microwave radiation by means of vertically extending electrode plates 34, connected to a source of microwave energy in a known manner (not shown).

It is to be understood that the bin 6 of the embodiment of FIG. 3 could be provided with moisture removing air in manner similar to those described above with regard to the previous embodiments.

Additionally, the coal bin 6 shown in FIG. 3 can be a container top of a conventional charging truck which can be put in a relatively fixed position to receive the necessary energy for the treatment of the coal so that the predominant portion of the electrical system for the production of the microwave field will remain stationary.

Although the present invention has been described above and has been illustrated with regard to certain specific structural and operational features, it is to be understood that various modifications may be made thereto without departing from the scope of the present invention. Specifically, the configurations of the actual treatment zones may be other than as illustrated. Also, the configurations of the various microwave electrodes may be other than as specifically illustrated. It is of

5

course to be understood that the electrodes will in all cases be designed in accordance with known concepts to provide an operationally safe structure whereby leakage of microwave energy is prevented. It is further to be understood that the microwave energy source may be any conventional and known source and may be operatively connected to the electrodes in any conventional and known manner. Further, the treatment zone may be designed in accordance with known concepts as a waveguide or as a cavity or chamber resonator.

What we claim is:

1. An apparatus for the thermal treatment of coal, said apparatus comprising:

a treatment zone through which coal is passed, said treatment zone comprising a substantially enclosed chamber, and conveyor means for continuously passing ground coal through said enclosed chamber, said conveyor means comprising an endless conveyor belt having an upper run extending through said chamber; and

means associated with said treatment zone for thereat exposing said coal to microwave radiation, said exposing means comprising microwave electrodes in the form of plates positioned above and below said upper run of said endless belt conveyor.

2. An apparatus for the thermal treatment of coal, said apparatus comprising:

a treatment zone through which coal is passed, said treatment zone comprising a downwardly inclined chute having an open upper end for the supply thereto of said coal and at the lower end thereof a coal discharge device; and

means associated with said treatment zone for thereat exposing said coal to microwave radiation, said exposing means comprising at least one microwave electrode positioned within said chute.

3. An apparatus for the thermal treatment apparatus comprising:

a treatment zone through which coal is passed, said treatment zone comprising a vertically extending bin having an open upper end for the supply thereto of said coal and at the lower end thereof a coal discharge device; and

means associated with said treatment zone for thereat exposing said coal to microwave radiation, said

6

exposing means comprising at least one microwave electrode positioned within said bin.

4. An apparatus as claimed in claims 1, 2 or 3, wherein said exposing means comprises means for generating microwave radiation at a frequency of from 20 to 3,000 MHz.

5. An apparatus as claimed in claims 1, 2 or 3, wherein said treatment zone comprises a waveguide.

6. An apparatus as claimed in claims 1, 2 or 3, wherein said treatment zone comprises a cavity or chamber resonator.

7. An apparatus as claimed in claim 1, further comprising means for passing dry air through said chamber and for thereby removing moisture from said coal.

8. An apparatus as claimed in claim 1, wherein said chamber is positioned between a coal supply bin and a furnace for utilization of said coal.

9. An apparatus as claimed in claim 2, wherein said electrode comprises an inclined plate extending substantially throughout the height of said chute and thereby dividing the interior of said chute into plural inclined channels.

10. An apparatus as claimed in claim 9, comprising a plurality of said inclined plates.

11. An apparatus as claimed in claim 10, further comprising means for passing dry and hot air upwardly through said coal in said chute and for thereby removing moisture from said coal and preventing recondensation of said moisture.

12. An apparatus as claimed in claim 11, wherein said air passing means comprise air nozzles arranged at the lower edges of said plates and at least one of the walls of said chute, such that air issuing from said nozzles passes in inclined upward directions along the lower inclined surfaces of said plates and said chute wall.

13. An apparatus as claimed in claim 2, further comprising means for passing dry air over said open upper end of said chute and for thereby removing moisture from said coal.

14. An apparatus as claimed in claim 3, wherein said electrode comprises a vertical plate extending substantially throughout the height of said bin and thereby dividing the interior of said bin into plural vertical channels.

15. An apparatus as claimed in claim 14, comprising a plurality of said vertical plates.

* * * * *

50

55

60

65