

UTILIZACIÓN DEL SULFATO EN EL AFINADO DE VIDRIO FUNDIDO DE COMBUSTIÓN SUMERGIDA

[0001] La presente divulgación está dirigida a la fabricación de vidrio y, más específicamente, a las técnicas para afinar el vidrio producido usando tecnología de fusión por combustión sumergida.

Antecedentes

[0002] El vidrio es un sólido amorfo rígido que tiene numerosas aplicaciones. El vidrio de sosa-cal-sílice, por ejemplo, se usa ampliamente para fabricar artículos de vidrio planos, tales como ventanas, artículos de vidrio huecos que incluyen recipientes tales como botellas y frascos, así como vajillas y otros artículos de vidrio especiales. El vidrio de sosa-cal-sílice comprende una red ternaria de óxido desordenada y espacialmente reticulada de $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O--CaO}$. El componente de sílice (SiO_2) es el óxido más grande en peso y constituye el principal material formador de la red del sílice vidrio de sosa-cal-sílice. El componente Na_2O funciona como un agente fundente que reduce las temperaturas de fusión, ablandamiento y transición vítrea del vidrio, en comparación con el vidrio de sílice pura, y el componente CaO funciona como un estabilizador que mejora ciertas propiedades físicas y químicas del vidrio, incluida su dureza y resistencia química. La inclusión de Na_2O y el CaO en la química del vidrio de sosa-cal-sílice hacen que la fabricación comercial de ese tipo de vidrio sea más práctica y menos intensiva en energía que el vidrio de sílice puro, al tiempo que ofrece propiedades de vidrio aceptables. El vidrio de sosa-cal-sílice, en general y basándose en el peso total del vidrio, tiene una composición química de vidrio que incluye del 60% en peso al 80% en peso de SiO_2 , 8% en peso al 18% en peso de Na_2O y 5% en peso al 15% en peso de CaO .

[0003] Además de SiO_2 , Na_2O y CaO , la composición química de vidrio de vidrio de sosa-cal-sílice puede incluir otros materiales de óxido y no óxido que actúan como formadores de red,

modificadores de red, colorantes, decolorantes, agentes redox u otros agentes que afectan las propiedades del vidrio final. Algunos ejemplos de estos materiales adicionales incluyen óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de magnesio (MgO), óxido de potasio (K_2O), carbono, sulfatos, nitratos, flúor, cloro y / o formas elementales u óxidos de uno o más de hierro, arsénico, antimonio, selenio, cromo, bario, manganeso, cobalto, níquel, azufre, vanadio, titanio, plomo, cobre, niobio, molibdeno, litio, plata, estroncio, cadmio, indio, estaño, oro, cerio, praseodimio, neodimio, europio, gadolinio, erbio y uranio. El óxido de aluminio es uno de los materiales que se incluyen con mayor frecuencia, normalmente presente en una cantidad de hasta el 2% en peso basado en el peso total del vidrio, debido a su capacidad para mejorar la durabilidad química del vidrio y reducir la probabilidad de desvitrificación. Independientemente de qué otros materiales de óxido y/o no óxido estén presentes en el vidrio de sosa-cal además del SiO_2 , Na_2O y CaO , la suma total de esos materiales adicionales es preferiblemente 10% en peso o menos, o más exactamente 5% en peso o menos, basado en el peso total del vidrio de sosa-cal-sílice.

[0004] La fabricación de vidrio implica fundir un material de alimentación vitrificable (a veces denominado lote de vidrio) en un horno o fundidor dentro de un volumen mayor de vidrio fundido. El material de alimentación vitrificable puede incluir materias primas vírgenes, vidrio reciclado (es decir, vidrio de desecho), óxidos precursores de vidrio, etc., en proporciones que den como resultado que el vidrio tenga una determinada composición de vidrio tras la fusión y reacción del material de alimentación. La fusión por combustión sumergida (SC) es una tecnología de fusión que puede producir vidrio y recientemente ha ganado interés como una opción potencialmente viable para la fabricación comercial de vidrio. A diferencia de las prácticas de fusión convencionales, en las que el vidrio fundido se calienta principalmente con calor radiante de quemadores elevados no sumergidos, la fusión SC implica inyectar una mezcla de gas combustible

que contiene combustible y un oxidante directamente en un vidrio fundido a través de quemadores sumergidos montados en el piso o en una parte sumergida de las paredes laterales de una carcasa de fundidor SC. La mezcla de gas combustible se autoinflama y los productos de combustión resultantes provocan una agitación vigorosa y turbulencia cuando son descargados a través de la masa fundida de vidrio. Las intensas fuerzas de corte experimentadas entre los productos de combustión y el vidrio fundido provocan una rápida transferencia de calor y la disolución de las partículas en todo el vidrio fundido en comparación con la cinética más lenta de un horno de fusión convencional.

[0005] Cuando el material de alimentación vitrificable se funde en vidrio, típicamente se producen burbujas de gas de varios tamaños que se arrastran dentro del vidrio. Es posible que sea necesario reducir la cantidad de burbujas de gas de todos los tamaños para satisfacer las especificaciones comerciales de vidrio "sin burbujas". La eliminación de burbujas de gas, un proceso conocido como "afinado/clarificación", puede estar justificada por varias razones, incluida la apariencia visual del vidrio cuando se enfría y se transforma en un artículo comercial terminado, como un recipiente de vidrio, un producto de vidrio plano o vajilla. Para el vidrio fundido producido con SC, el afinado se ha logrado típicamente calentando el vidrio con quemadores superiores en un recipiente de afinado ubicado aguas abajo del fundidor SC para lograr una cierta viscosidad del vidrio y/o agregando un agente de afinado en el vidrio. Un agente de afinado es un compuesto químico que reacciona dentro del vidrio a temperaturas elevadas para liberar gases de afinado como O_2 , SO_2 , y/o posiblemente otros, que, a su vez, erradican burbujas de gas ya-presentes que resultan de la fusión de los materiales formadores de vidrio incluidos en el material de alimentación vitrificable.

[0006] Si bien la tecnología de fusión SC puede fundir e integrar el material de materia prima vitrificable en el vidrio fundido con relativa rapidez, lo que da como resultado tiempos de residencia del vidrio relativamente bajos en comparación con las prácticas convencionales de fusión del vidrio, el proceso de afinado del vidrio fundido producido por SC presenta varios desafíos únicos que no son encontrado al clarificar vidrio fundido producido en un horno convencional. Por ejemplo, el vidrio fundido producido en un fundidor SC tiende a ser espumoso y tiene una densidad relativamente baja a pesar de estar químicamente homogeneizado cuando se descarga del fundidor SC. La gran cantidad de burbujas distribuidas homogéneamente puede formar rápidamente una capa superficial de espuma cuando el vidrio fundido se asienta en una cámara de afinado aguas abajo de un recipiente de afinado. La capa de espuma superficial puede ser lo suficientemente gruesa como para aislar el vidrio fundido subyacente de la atmósfera por encima del baño de vidrio fundido. Cuando está presente una capa aislante de espuma, puede ser difícil transferir la cantidad de calor al vidrio que se necesita para lograr la viscosidad del vidrio a la que la velocidad de ascenso de las burbujas a través del vidrio es adecuada. Además, la combustión directa de los productos de combustión en la masa fundida de vidrio dentro del fundidor SC tiende a provocar una volatilización más pronunciada de los compuestos volátiles. Como resultado, puede ser necesario agregar una mayor cantidad de compuestos volátiles, incluidos algunos agentes de afinado, por ejemplo, sulfatos, al vidrio fundido para asegurar que ciertos niveles de esos compuestos se retengan en el vidrio fundido descargado del fundidor SC. Esto puede complicar el proceso de mezcla de la materia prima vitrificable, aumentar los costos de la materia prima e intensificar la cantidad de gases de escape volatizados emitidos por el fundidor SC que pueden tener que reciclarse, tratarse o gestionarse de otro modo como parte de la operación general de fabricación de vidrio.

Breve descripción de la invención

[0007] La presente divulgación se refiere a un método para producir y afinar masa fundida mientras se optimiza la cantidad de un agente de afinado químico de sulfato añadido al vidrio. En particular, se ha determinado que un agente de afinado químico de sulfato tiene un impacto insignificante en la velocidad de eliminación de burbujas del vidrio fundido producido con SC a una cierta temperatura del vidrio o por encima de ella, a la que se hace referencia en el presente documento como la "temperatura mínima de afinado del vidrio". Por encima de la temperatura mínima de afinado del vidrio, cuyo ajuste puede depender de dónde se mida exactamente la temperatura del vidrio, la ascensión de las burbujas dentro del vidrio se rige principalmente por la viscosidad del vidrio; es decir, la temperatura del vidrio y su viscosidad correspondiente desempeñan un papel más importante en el aumento de la velocidad de subida de las burbujas a través del vidrio que la actividad de un agente de afinado químico de sulfato. En ese sentido, se controla la temperatura del baño de vidrio fundido contenido dentro de una cámara de afinado de un recipiente de afinado, que recibe un flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar de un fundidor SC. En base a la temperatura monitorizada del baño de vidrio fundido y su comparación con la temperatura mínima de afinado del vidrio, se controla la cantidad de un agente de afinado químico de sulfato añadida a la masa fundida de vidrio dentro del fundidor SC aguas arriba.

[0008] La cantidad de agente de afinado químico de sulfato añadida a la masa fundida de vidrio se puede controlar de varias formas dependiendo de la temperatura monitoreada del baño de vidrio fundido en el recipiente de afinado. Por ejemplo, si la temperatura del baño de vidrio fundido no excede la temperatura mínima de afinado del vidrio, se agrega un agente de afinado químico de sulfato al vidrio fundido en una cantidad que asegure que se logre al menos un contenido mínimo de sulfato retenido en el vidrio fundido sin refinar. descargado del fundidor SC para impulsar el

afinado en el recipiente de afinado. Por el contrario, si la temperatura del baño de vidrio fundido es igual o superior a la temperatura mínima de afinado del vidrio, se puede suspender la adición del agente de afinado químico de sulfato en la masa fundida de vidrio o se puede agregar el agente de afinado químico de sulfato en una cantidad limitada según sea necesario para algún otro propósito, como ajustar el redox del vidrio o promover una determinada coloración (por ejemplo, vidrio ámbar), sin hacer ninguna contribución adicional para el afinado. La cantidad de agente de afinado químico de sulfato añadida a la masa fundida de vidrio se puede ajustar según sea necesario a lo largo del tiempo en función de la temperatura controlada del baño de vidrio fundido en el recipiente de afinado. Como resultado de coordinar la adición del agente de afinado de sulfato en la masa fundida de vidrio con las condiciones del vidrio fundido que son indicativas de si la actividad de afinado química será efectiva, se puede lograr un uso más optimizado del agente de afinado de sulfato que minimice el derroche excesivo.

[0009] La presente divulgación incorpora una serie de aspectos que pueden implementarse por separado o en combinación con otros para proporcionar un método para producir vidrio. De acuerdo con una realización de la presente divulgación, un método de producción y afinado de vidrio incluye varios pasos. Un paso del método implica introducir un material de alimentación vitrificable en una masa fundida de vidrio contenida dentro de una cámara de reacción interior de un fundidor de combustión sumergida. El material de alimentación vitrificable comprende materiales formadores de vidrio que se funden y reaccionan para formar vidrio que tiene una red desordenada a base de óxido. Otro paso del método implica descargar vidrio fundido sin refinar desde la cámara de reacción interior del fundidor de combustión sumergida y entregar un flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar a una cámara de afinado de un recipiente de afinado. El vidrio fundido sin refinar se fusiona con un baño de vidrio fundido contenido dentro de la cámara de

afinado. Otro paso más del método implica controlar la temperatura del baño de vidrio fundido dentro de la cámara de afinado. Y otra etapa más del método implica controlar una cantidad de un agente de afinado químico de sulfato añadida al vidrio fundido en el fundidor de combustión sumergida en base a la temperatura del baño de vidrio fundido dentro de la cámara de afinado.

[0010] De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, un método de producción y afinado de vidrio incluye varios pasos.. Un paso implica introducir un material de alimentación vitrificable en una masa fundida de vidrio contenida dentro de una cámara de reacción interior de un fundidor de combustión sumergida. El material de alimentación vitrificable comprende materiales formadores de vidrio que se funden-reaccionan dentro del vidrio fundido para formar vidrio que tiene una composición de vidrio de sosa-cal-sílice que incluye 60% en peso a 80% en peso de SiO_2 , 8% en peso a 18% en peso de Na_2O , y 5% en peso a 15% en peso de CaO . Otro paso del método implica descargar los productos de combustión de uno o más quemadores sumergidos directamente en la masa fundida de vidrio contenida dentro de la cámara de reacción interior del fundidor de combustión sumergida. Los productos de combustión descargados de uno o más quemadores sumergidos agitan el vidrio fundido. Otro paso más del método implica descargar vidrio fundido sin refinar de la cámara de reacción interior del fundidor de combustión sumergida y suministrar un flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar a una cámara de afinado de un recipiente de afinado. La cámara de afinado está definida por una carcasa, y el vidrio fundido sin refinar se fusiona con un baño de vidrio fundido contenido dentro de la cámara de afinado. Otro paso más del método implica controlar la temperatura del baño de vidrio fundido dentro de la cámara de afinado. La temperatura del baño de vidrio fundido se determina dentro de una zona de indicación de temperatura que abarca una porción subsuperficial del baño de vidrio fundido que se encuentra adyacente a un piso de la carcasa del recipiente de afinado. Otro paso del método implica controlar

una cantidad de un agente de afinado químico de sulfato añadido al vidrio fundido en el fundidor de combustión sumergida en base a la temperatura del baño de vidrio fundido dentro de la cámara de afinado. Y otra etapa más del método consiste en descargar un flujo de salida de vidrio fundido refinado de la cámara de afinado del recipiente de afinado. El flujo de salida de vidrio fundido refinado tiene una densidad de vidrio que es mayor que la densidad de vidrio del flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar recibido en la cámara de afinado del recipiente de afinado.

Breve descripción de los dibujos

[0011] La divulgación, junto con objetos, características, ventajas , y aspectos adicionales de la misma, se entenderá mejor a partir de la siguiente descripción, las reivindicaciones adjuntas y los dibujos adjuntos, en los que:

[0012] La FIG. 1 es una representación en sección transversal elevada de un sistema que incluye un fundidor de combustión sumergida y un recipiente de afinado posicionado aguas abajo del fundidor de combustión sumergida según una realización de la presente divulgación;

[0013] La FIG. 2 es una vista en planta de la sección transversal del piso del fundidor de combustión sumergida ilustrado en la FIG. 1 y tomada a lo largo de la línea de sección 2-2 de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

[0014] La FIG. 3 es una vista en sección transversal elevada del recipiente de afinado ilustrado en la FIG. 1 según una realización de la presente divulgación;

[0015] La FIG. 4 es una vista en planta de la sección transversal del recipiente de afinado ilustrado en la FIG. 3 y tomada a lo largo de la línea de sección 4-4 de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

[0016] La FIG. 5 es una ilustración en sección transversal de un panel enfriado por líquido que puede usarse para construir parte o la totalidad de la carcasa del fundidor de combustión sumergida de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

[0017] La FIG. 6 es una ilustración en sección transversal representativa y ampliada de un desnatador ("skimmer") que puede incluirse en el recipiente de afinado de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

[0018] La FIG. 7 es una vista en sección transversal parcial del recipiente de afinado que ilustra la zona de indicación de temperatura definida dentro de la sección de acondicionamiento de la cámara de afinado según una realización de la presente divulgación;

[0019] La FIG. 8 es un diagrama de flujo esquemático de un proceso de formación de envases de vidrio a partir de vidrio fundido producido en un fundidor de combustión sumergida y afinado en un recipiente de afinado corriente abajo según una realización de la presente divulgación; y

[0020] La FIG. 9 es un gráfico que traza el recuento de burbujas (número/gramo) en el eje "y" frente a una temperatura (°C) medida en el fondo de un baño de vidrio fundido en una sección de acondicionamiento de un recipiente de afinado de vidrio en el eje "x" para varios ensayos en los que el vidrio tenía un contenido de sulfato retenido por debajo del 0.04% en peso (círculos abiertos) y varios ensayos en los que el vidrio tenía un contenido de sulfato retenido por encima del 0.04% en peso (círculos sólidos).

Descripción detallada

[0021] El método descrito es útil para afinar vidrio fundido producido mediante fusión por combustión sumergida (a veces denominado "vidrio fundido producido por SC"). Como se explicará con más detalle a continuación, se monitoriza la temperatura de un baño de vidrio fundido contenido dentro de una cámara de afinado de un recipiente de afinado. La temperatura

monitoreada del baño de vidrio fundido es preferiblemente una temperatura del baño de vidrio fundido dentro de una zona de indicación de temperatura que abarca una porción subsuperficial del baño de vidrio fundido adyacente al piso de la carcasa del recipiente de afinado y separada de una entrada pared final y una pared final de salida de la carcasa. La temperatura monitoreada se compara con una temperatura mínima de afinado de vidrio, que depende de la ubicación de la zona de indicación de temperatura, y en base a esa comparación, la cantidad de un agente de afinado químico de sulfato agregado a una masa fundida de vidrio contenida dentro de un fundidor de combustión sumergida colocado aguas arriba del recipiente de afinado se controla. El método descrito se basa en el reconocimiento de que el afinado del vidrio producido con SC es asistido por la presencia de un agente de afinado químico de sulfato hasta la temperatura mínima de afinado del vidrio, y que, por encima de la temperatura mínima de afinado del vidrio, el agente de afinado químico de sulfato no tiene un efecto apreciable sobre el afinado ya que la viscosidad del vidrio es la principal fuerza impulsora para la eliminación eficaz de las burbujas.

[0022] Refiriéndonos ahora a las FIGS. 1-4, se representa un sistema 10 de fabricación de vidrio que incluye un fundidor 12 de combustión sumergida (SC) y un recipiente 14 de afinado. El fundidor SC 12 se coloca corriente arriba del recipiente de afinado 14 y se alimenta con un material de alimentación vitrificable 16 que presenta una formulación formadora de vidrio. El material de alimentación vitrificable 16 se hace reaccionar en estado fundido dentro del fundidor SC 12 dentro de una masa fundida de vidrio agitado 18 para producir vidrio fundido que tiene una red basada en óxido-desordenada. El vidrio fundido sin refinar 20 extraído del vidrio fundido 18 se descarga del fundidor SC 12 y se entrega como un flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 22 al recipiente de afinado 14. El flujo de entrada de vidrio fundido 22 sin refinar se combina con un baño 24 de vidrio fundido contenido dentro del recipiente de afinado 12 que afina y acondiciona térmicamente

el vidrio fundido. Un flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 se descarga del recipiente de afinado 14 para su posterior procesamiento en, por ejemplo, un recipiente o vajilla o artículos de vidrio plano.

[0023] El fundidor SC 12 incluye una carcasa 28 que define una cámara de reacción interior 30. La cámara de reacción interior 30 definida por la carcasa 28 sostiene y contiene el vidrio fundido 18 cuando el fundidor SC 12 está operativo. La carcasa 28 tiene un techo 32, un piso 34 y una pared circundante 36 que conecta el techo 32 y el piso 34. La pared circundante 36 incluye además una pared de extremo frontal 36a, una pared de extremo posterior 36b que se opone y está separada de la pared de extremo frontal 36a, y dos paredes laterales opuestas 36c, 36d que conectan la pared de extremo frontal 36a y la pared de extremo posterior 36b. Al menos el piso 34 y la pared lateral vertical 36 de la carcasa 28, así como el techo 32 si se desea, pueden construirse a partir de uno o más paneles refrigerados por fluido 38 como se muestra, por ejemplo, en la FIG. 5. Cada uno de los paneles refrigerados por fluido 38 puede incluir una pared interior 38a y una pared exterior 38b que juntas definen un espacio interior de refrigeración 40 a través del cual puede circular un refrigerante, tal como agua. Uno o más deflectores (no mostrados) pueden extenderse total o parcialmente entre las superficies interiores enfrentadas de las paredes interior y exterior 38a, 38b para dirigir el flujo del refrigerante a lo largo de una trayectoria de flujo deseada. Como resultado de estar refrigerado por líquido, una capa de material refractario del lado de vidrio 42 que cubre una superficie exterior de la pared interior 38a de cada panel refrigerado por líquido 38 soporta, y está cubierta por, una capa de vidrio congelado 44 que se forma in situ entre una piel exterior de la masa fundida de vidrio 18 y una superficie de la capa 42 de material refractario del lado del vidrio. Esta capa de vidrio congelado 44, una vez formada, protege y protege eficazmente la pared

interior subyacente 38a del vidrio fundido 18. La capa de material refractario 42 del lado del vidrio puede estar compuesta de AZS (es decir, alúmina-circonio-sílice).

[0024] La carcasa 28 del fundidor SC 12 define una entrada de material de alimentación 46, una salida de vidrio fundido 48 y una ventilación de escape 50. Como se muestra aquí en la FIG. 1, la entrada de material de alimentación 46 puede estar definida en el techo 32 de la carcasa 28 adyacente o a una distancia de la pared de extremo delantero 36a, y la salida de vidrio fundido 48 puede estar definida en la pared de extremo posterior 36b de la carcasa 28 adyacente o a una distancia por encima del piso 34, aunque ciertamente son posibles otras ubicaciones para la entrada de material de alimentación 46 y la salida de vidrio fundido 48. La entrada de material de alimentación 46 proporciona una entrada a la cámara de reacción interior 30 para la entrega del material de alimentación vitrificable 16. Un alimentador de lotes 52 que está configurado para introducir una cantidad medida del material de alimentación/materia prima vitrificable 16 en la cámara de reacción interior 30 puede estar acoplado a la carcasa 28. El alimentador de lotes 52 puede, por ejemplo, incluir un tornillo giratorio (no mostrado) que gira dentro de un tubo de alimentación 54 de un diámetro ligeramente mayor que se comunica con la entrada de material de alimentación 46 para entregar el material de alimentación vitrificable 16 desde una tolva de alimentación a la cámara de reacción interior 30 a una velocidad controlada. La salida de vidrio fundido 48 proporciona una salida de la cámara de reacción interior 30 para la descarga del vidrio fundido sin refinar 20 fuera del fundidor SC 12.

[0025] La ventilación de escape 50 de escape se define preferiblemente en el techo 32 de la carcasa 28 entre la pared de extremo frontal 36a y la pared de extremo posterior 36b en una ubicación aguas abajo de la entrada de material de alimentación 46. Un conducto de escape 56 se comunica con la ventilación de escape 50 y está configurado para eliminar compuestos gaseosos de la cámara

de reacción interior 30. Los compuestos gaseosos eliminados a través del conducto de escape 56 pueden tratarse, reciclarse o eliminarse de otro modo del fundidor SC 12 según sea necesario. Para ayudar a prevenir o al menos minimizar la potencial pérdida de parte del material de alimentación de vidrio 14 a través de la ventilación de escape 50 como material de desecho involuntario, una pared divisoria 58 que depende del techo 32 de la carcasa 28 puede colocarse entre la entrada de material de alimentación 46 y la ventilación de escape 50. La pared divisoria 58 puede incluir un extremo libre inferior 60 que está sumergido dentro del vidrio fundido 18, como se muestra, aunque también puede estar posicionado cerca, pero por encima, del vidrio fundido 18 en otras implementaciones. Preferiblemente, la pared divisoria 58 se construye a partir de un panel refrigerado por fluido similar al representado en la FIG. 5.

[0026] El fundidor SC 12 incluye uno o más quemadores sumergidos 62. Cada uno de los uno o más quemadores sumergidos 62 está montado en un puerto 64 definido en el piso 34 (como se muestra) y/o en la pared circundante vertical 36 en una porción de la pared 36 que está sumergida por el vidrio fundido 18. Cada uno de los quemadores sumergidos 62 inyecta por la fuerza una mezcla de gas combustible G en el vidrio fundido 18 a través de una boquilla de salida 66. La mezcla de gas combustible G comprende combustible y un oxidante tal como oxígeno. El combustible suministrado a los quemadores sumergidos 62 es preferiblemente metano o propano, y el oxígeno puede suministrarse como oxígeno puro, en cuyo caso los quemadores 62 son quemadores de oxicomcombustible, o puede suministrarse como un componente de aire o de un gas enriquecido con oxígeno. Al ser inyectada en la masa fundida de vidrio 18, la mezcla de gas combustible G se autoignifica inmediatamente para producir productos de combustión 68, a saber, CO₂, CO, H₂O, y cualquier combustible sin quemar, oxígeno y/u otros compuestos gaseosos, como nitrógeno, que se descargan en ya través de la masa fundida de vidrio 18. En cualquier lugar de

cinco a treinta quemadores sumergidos 62 se instalan típicamente en el fundidor SC 12, aunque ciertamente se pueden emplear más o menos quemadores 62 dependiendo del tamaño y la capacidad de fusión del fundidor 12.

[0027] El recipiente de afinado 14 está posicionado aguas abajo del fundidor SC 12 e incluye una carcasa 70 que define una cámara de afinado 72. La cámara de afinado 72 sostiene y contiene el baño de vidrio fundido 24. La carcasa 70 del recipiente de afinado de vidrio 14 incluye un techo 74, un piso 76 y una pared vertical 78 que conecta el techo 74 y el piso 76. La pared vertical 78 incluye típicamente una pared de entrada o de extremo frontal 78a, una pared de salida o de extremo posterior 78b que se opone y está separada de la pared de extremo de entrada 78a, y dos paredes laterales opuestas 78c, 78d que unen las paredes de extremo de entrada y salida 78a, 78b. La pared de extremo de entrada 78a y la pared de extremo de salida 78b definen una longitud L de la cámara de afinado 72 mientras que las paredes laterales opuestas 78c, 78d definen una anchura W de la cámara de afinado 72 y el techo 74 y el piso 76 definen una altura H de la cámara de afinado 72. La carcasa 70 del recipiente de afinado 14 está construida de uno o más materiales refractarios. En una realización particular, el piso 76 y las porciones de la pared vertical 78 en contacto con el vidrio pueden formarse a partir de AZS fundido (alúmina-zirconia-silicato), AZS de unión, AZS moldeable, refractarios de tipo alúmina-sílice o de alto contenido de alúmina, alúmina-cromo. Pueden disponerse ladrillos aislantes y placas de cerámica contra incendios detrás de estas porciones de la carcasa 70. En cuanto al techo 74 y la superestructura (es decir, la porción de la pared vertical 78 sin contacto con el vidrio), esas partes de la carcasa 70 pueden formarse a partir de un refractario de alúmina-sílice como mullita.

[0028] La carcasa 70 define una entrada 80 y una salida 82. El flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 22 que se origina en el fundidor SC 12 se recibe en la cámara de afinado 72 a través de

la entrada 80 y el flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 se descarga desde la cámara de afinado 72 a través de la salida 82. En consecuencia, el baño de vidrio fundido 24 fluye a través de la cámara de afinado 72 en una dirección de flujo F desde la entrada 80 a la salida 82 mientras se afina y acondiciona térmicamente a lo largo del camino. La entrada 80 puede estar definida en el techo 74 de la carcasa 70 cerca de la pared del extremo de entrada 78a, como se muestra, aunque también puede estar definida en la pared del extremo de entrada 78a o en una o ambas paredes laterales 78c, 78d ya sea arriba o debajo de una superficie 24' del baño de vidrio fundido 24. La entrada 80 proporciona una entrada a la cámara de afinado 72 y está en comunicación de flujo con la salida de vidrio fundido 48 del fundidor SC 12. Por ejemplo, la entrada 80 del recipiente de afinado 14 puede estar acoplada de manera fluida al fundidor SC 12 o un tanque de retención intermedio (no mostrado) ubicado entre el fundidor SC 12 y el recipiente de afinado 14 mediante un conducto contenido o, en otra implementación, la entrada 80 se puede colocar para recibir un vertido asistido por gravedad del vidrio fundido 22 sin refinar desde el fundidor SC 12 como se muestra aquí en la FIG. 1. Un ejemplo de un tanque de retención intermedio que puede colocarse de manera fluida entre el fundidor SC 12 y el recipiente de afinado 14 es el recipiente de enfriamiento que se describe en una solicitud de patente titulada VASO DE ESTABILIZACIÓN PARA FUNDIDOR DE COMBUSTIÓN SUMERGIDA, solicitud de patente de EE. UU. Número de serie 16/590,068 , que se asigna al cesionario de la presente invención y se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

[0029] La salida 82 del recipiente de afinado 14 puede estar definida en la pared del extremo de salida 78b adyacente al piso 76, como se muestra, o por encima del piso 76 pero debajo de la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24. La salida 82 también puede estar definida en el piso 76 o en una o ambas paredes laterales 78c, 78d debajo de la superficie 24' del baño de vidrio

fundido 24 y cerca de la pared del extremo de salida 78b. La salida 82 proporciona una salida de la cámara de afinado 72 y, en el contexto de la fabricación de envases de vidrio comerciales, puede estar en comunicación de flujo con una cámara de boquilla (“spout”) 84 de una boquilla 86 que está unida a la pared de extremo de salida 78b. La boquilla 86 incluye un cuenco de boquilla 88, que define la cámara de boquilla 86 junto con una placa de orificios 90, e incluye además al menos un émbolo recíproco 92. El émbolo recíproco 92 se mueve alternativamente/reciprocantemente con respecto a la placa de orificios 90 para controlar el flujo de vidrio fundido refinado acumulado 94 mantenido dentro de la cámara de boquilla 84 a través de un orificio alineado 96 en la placa de orificios 90 para formar corrientes o canales de vidrio fundido. Estos flujos o canales de vidrio pueden ser cizallados en trozos de vidrio de un peso predeterminado que pueden ser formados individualmente en contenedores de vidrio al ser entregados a la máquina formadora de contenedores de vidrio.

[0030] El recipiente de afinado 14 puede incluir al menos un desnatador 98 colocado entre la entrada 80 y la salida 82. Como se muestra en la FIG. 6, que es una ilustración representativa del (los) desnatador(es) 98 que pueden estar presentes, cada skimmer 98 se extiende hacia abajo desde el techo 74 de la carcasa 72 y está parcialmente sumergido en el baño de vidrio fundido 24. Una porción sumergida 100 del desnatador 98 se extiende a través de la cámara de afinado 72 entre las paredes laterales 78c, 78d de la carcasa 72 e incluye un extremo libre distal 102 del desnatador 98 que define un pasaje sumergido 104 junto con las porciones correspondientes del piso 76 y las paredes laterales 78c, 78d. El establecimiento del pasaje sumergido 104 hace que una corriente inferior del baño de vidrio fundido 24 fluya por debajo del desnatador 98 y a través del pasaje sumergido 104 mientras el baño de vidrio 24 en su conjunto fluye a lo largo de la dirección de flujo F hacia delante. Como resultado, el desnatador 98 bloquea el vidrio menos denso y más

cargado de burbujas que sube a la parte superior del baño de vidrio fundido 24 para que no fluya hacia la salida 82 del recipiente de afinado 14. En la realización del recipiente de afinado 14 representado aquí, tres desnatadores 98 están colocados entre la entrada 80 y la salida 82 del recipiente de afinado 14 en relación espaciada a lo largo de la dirección de flujo F.

[0031] Con relación a la dirección de flujo F dentro de la cámara de afinado 72, los tres desnatadores 98 de esta realización del recipiente de afinado 14 incluyen un desnatador delantero 98a, un desnatador posterior 98c y un desnatador intermedio 98b. El desnatador delantero 98a es el primer desnatador 98 dispuesto dentro de la cámara de afinado 72 a lo largo de la dirección de flujo F y el desnatador posterior 98c es el último desnatador 98 dispuesto dentro de la cámara de afinado 72 a lo largo de la dirección de flujo F. El desnatador delantero 98a y la pared de extremo de entrada 78a establece una sección de recepción 106 de la cámara de afinado 72, y el desnatador trasero 98c y la pared de extremo posterior 78b establecen una sección de entrega 110 de la cámara de afinado 72. Además, el desnatador delantero 98a y el desnatador trasero 98c establecen una sección 108 de acondicionamiento de la cámara de afinado 72 entre la sección de recepción 106 y la sección de entrega 110. La sección de acondicionamiento 108 se divide además en una primera subsección de acondicionamiento aguas arriba 108a y una segunda subsección de acondicionamiento aguas abajo 108b mediante el desnatador intermedio 98b. Si se desea, se pueden proporcionar desnatadores intermedios 98b adicionales entre los desnatadores delantero y posterior 98a, 98c para dividir adicionalmente la sección de acondicionamiento 108 en más subsecciones de acondicionamiento si se desea.

[0032] La sección de recepción 106 de la cámara de afinado 72 abarca la entrada 80 y recibe el flujo de entrada de vidrio fundido 22 sin refinar, la sección de entrega 110 abarca la salida 82 y suministra el flujo de salida descargada del vidrio fundido refinado 26, y la sección de

acondicionamiento 108 se comunica con ambos las secciones de recepción y entrega 106, 110 de la cámara de afinado 72 para hacer la transición del vidrio fundido de sin refinar a refinado. En consecuencia, el baño de vidrio fundido 24 se divide en una porción de recepción 24a recogida en la sección de recepción 106, una porción de acondicionamiento 24b recogida en la sección de acondicionamiento 108 que incluye las diversas subsecciones 108a, 108b de la sección de acondicionamiento 108, y una porción de entrega 24c recogida en la sección de entrega 110. Se permite un flujo restringido entre las diversas secciones 106, 108, 110 en la dirección de flujo F a través de los pasajes sumergidos 104a, 104b, 104c definidos debajo de los desnatadores 98a, 98b, 98c. De esta manera, el vidrio fundido más denso y menos cargado de burbujas dentro del baño de vidrio fundido 24 puede fluir entre las secciones 106, 108, 110 de la cámara de afinado 72 para ayudar a asegurar que el vidrio fundido recogido en la sección de suministro 110 se encuentre o excede las especificaciones mínimas para el vidrio refinado que finalmente se descarga del recipiente de afinado 14.

[0033] La carcasa 70 del recipiente de afinado 14 también puede soportar uno o más quemadores 112 no sumergidos para proporcionar calor al baño 24 de vidrio fundido. Cada uno de los quemadores 112 no sumergidos quema una mezcla de un combustible y un oxidante. Los quemadores 112 no sumergidos pueden incluir uno o más quemadores de pared lateral 112a montados en una o ambas paredes laterales 78c, 78d de la carcasa 70, uno o más quemadores de techo 112b montados en el techo 74 de la carcasa 70, o ambos tipos de quemadores 112a, 112b. Los productos de combustión 114a, 114b emitidos por cada uno de los quemadores 112a, 112b pueden dirigirse individualmente a una atmósfera abierta 116 por encima de la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24 y, por lo tanto, no inciden directamente en el baño de vidrio fundido 24 o en los productos de combustión 114a, 114b pueden apuntar hacia el baño de vidrio fundido 24

de manera que incidan directamente en la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24. Dirigir los productos de combustión 114a, 114b a la atmósfera 116 por encima del baño de vidrio fundido 24 transfiere calor de manera radiante a la poza de vidrio fundido 24 mientras que el impacto directo entre los productos de combustión 114a, 114b y el baño de vidrio fundido 24 transfiere calor mediante varios mecanismos, incluida la conducción y convección. El impacto directo también puede reducir el volumen de cualquier espuma que pueda acumularse, ya sea en una capa de espuma o no, en la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia de la transferencia de calor al vidrio fundido ya que la espuma tiende a actuar como barrera térmica aislante. Preferiblemente, los quemadores de pared lateral 112a son quemadores de lápiz y los quemadores de techo 112b son quemadores de llama plana.

[0034] Como parte del método descrito, y como se muestra mejor en las FIGS. 3-4 y 7, la temperatura del baño de vidrio fundido 24 se controla a lo largo del tiempo. Tal monitorización implica determinar una temperatura del baño 24 de vidrio fundido dentro de una zona 118 de indicación de temperatura que abarca una porción 120 subsuperficial del baño 24 de vidrio fundido. La zona de indicación de temperatura 118 está ubicada preferiblemente adyacente al piso 76 de la carcasa 70 del recipiente de afinado 14 ya que es más probable que las regiones más profundas del baño de vidrio fundido 24 estén más frías que las regiones superiores del baño 24. La temperatura del baño de vidrio fundido 24 puede disminuir a medida que aumenta la profundidad D del baño de vidrio fundido 24 ya que el calor producido por uno o más quemadores no sumergidos 112 puede no penetrar homogéneamente a través del baño de vidrio fundido 24 y, por tanto, se puede establecerse un gradiente de temperatura decreciente desde la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24 hacia el fondo del baño de vidrio fundido 24. La zona de indicación de temperatura 118 se eleva preferiblemente hacia arriba desde el piso 76 de la carcasa 70 hasta la

distancia d_1 (FIG. 7) que varía del 10% al 60% de la profundidad D del baño de vidrio fundido 24 mientras se extiende por todo el ancho W de la cámara de afinado 72. La zona de indicación de temperatura 118 también está preferiblemente separada de la pared de extremo de entrada 78a y de la pared de extremo de salida 78b en una distancia d_2 , d_3 (FIG. 4), cada uno de los cuales varía del 10% al 40% de la longitud L de la cámara de afinado 72, para capturar mejor la condición térmica de la porción subsuperficial 120 del baño de vidrio fundido 24 en y alrededor del centro de la cámara de afinado 72. Como tal, en la realización mostrada aquí, la zona de indicación de temperatura 118 está definida dentro de la sección de acondicionamiento 108 de la cámara de afinado 72.

[0035] La zona de indicación de temperatura 118 se define preferiblemente para abarcar la porción subsuperficial 120 del baño de vidrio fundido 24 adyacente al piso 76 de la carcasa 70 y lejos de las paredes de extremos de entrada y salida 78a, 78b de la carcasa 70, ya que esa ubicación particular vincula con mayor precisión la temperatura del vidrio y el impacto de un agente de afinado químico de sulfato. La temperatura de las regiones inferiores o más profundas del baño de vidrio fundido 24 es más informativa que la de las regiones superiores o menos profundas, ya que las burbujas contenidas en las regiones más profundas del baño de vidrio fundido 24 son más difíciles de eliminar porque (1) el vidrio es generalmente más frío en el fondo del baño de vidrio fundido 24 y (2) las burbujas tienen que penetrar a través de una mayor profundidad (es decir, espesor) de vidrio para alcanzar la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24. Además, el baño de vidrio fundido 24 en la pared del extremo de entrada 78a contiene muchas burbujas y tiene una mayor probabilidad de estar confinado debajo de una capa de espuma que aísla y obstruye el flujo de calor en el vidrio mientras que el baño de vidrio fundido 24 en el extremo de salida la pared 78b tiene muy poco espacio para que las burbujas asciendan a la superficie 24' del baño de vidrio

fundido 24 antes de que el vidrio se descargue del recipiente de afinado 14. Por tanto, la zona de indicación de temperatura 118 se ha diseñado para centrarse en las burbujas más difíciles de eliminar que son el objetivo del proceso de afinado en un lugar donde las burbujas todavía tienen espacio para subir a la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24 y estallar.

[0036] La temperatura del baño de vidrio fundido 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 puede determinarse de diversas formas. En una implementación, un sensor de temperatura 122 puede estar en contacto directo con la porción subsuperficial 120 del baño de vidrio fundido 24 en la zona de indicación de temperatura 118 para así proporcionar una medición directa de la temperatura en el mismo. El sensor de temperatura 122 en este caso puede ser un termopar tal como, por ejemplo, un termopar de inmersión de dedal de platino. En otra implementación, el sensor de temperatura 122 puede no-ser sensor de contacto que mide la temperatura de la superficie 24' del baño de vidrio 24 por encima de la zona de indicación de temperatura 118, que a su vez se puede convertir a través del modelado o cálculo en la temperatura de la porción subsuperficial subyacente 120 del baño de vidrio fundido 24 dentro del zona de indicación de temperatura 118. Un ejemplo de sensor sin contacto que se puede emplear para este propósito es un pirómetro de radiación. En otras implementaciones, el sensor de temperatura 122 puede medir la temperatura del baño de vidrio fundido 24 en cualquier lugar fuera de la zona de indicación de temperatura 118, o puede medir la temperatura de la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24 en un punto o puntos específicos (no necesariamente por encima de la zona de indicación de temperatura 118), y tales datos pueden usarse para determinar la temperatura del baño de vidrio fundido 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 mediante modelado o cálculo. Independientemente de cómo se determine, la temperatura del baño de vidrio fundido 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 se controla a lo largo del tiempo y la

información de temperatura se usa como parte del método descrito para controlar la adición de un agente de afinado químico de sulfato a la masa fundida de vidrio 18 dentro del fundidor SC 12. También se pueden emplear otros sensores de temperatura específicos además de los tipos específicos mencionados anteriormente.

[0037] Refiriéndonos ahora más específicamente a las FIGS. 1 a 4 y 7, el método divulgado se describe en el contexto de la fabricación de vidrio de sosa-cal-sílice, aunque debe apreciarse que la misma metodología puede aplicarse también a otras químicas de vidrio. Durante el funcionamiento del fundidor SC 12, cada uno de los uno o más quemadores sumergidos 62 descarga individualmente los productos de combustión 68 directamente en y a través del vidrio fundido 18. El vidrio fundido 18 es un volumen de vidrio fundido que a menudo pesa entre 1 tonelada estadounidense (1 tonelada estadounidense = 2000 lbs.) y 100 toneladas estadounidenses y se mantiene generalmente a un volumen constante durante el funcionamiento en estado estacionario del fundidor SC 12. A medida que los productos de combustión 68 son empujados dentro y a través de la masa fundida de vidrio 18, lo que crea patrones de flujo complejos y turbulencias severas, la masa fundida de vidrio 18 se agita vigorosamente y experimenta una rápida transferencia de calor e intensas fuerzas de corte. Los productos de combustión 68 escapan eventualmente de la masa fundida de vidrio 18 y se retiran de la cámara de reacción interior 30 a través de la ventilación de escape 50 junto con cualquier otro compuesto gaseoso que pueda volatilizarse fuera de la masa fundida de vidrio 18. Además, en algunas circunstancias, uno o más quemadores no-sumergidos (no mostrados) pueden montarse en el techo 32 y/o la pared vertical 36 circundante en una ubicación por encima del vidrio fundido 18 para proporcionar calor al vidrio fundido 18, ya sea directamente por impacto de llama o indirectamente a través de transferencia de calor radiante y también para facilitar la supresión y/o destrucción de la espuma.

[0038] Mientras los uno o más quemadores sumergidos 62 están siendo encendidos en la masa fundida de vidrio 18, el material de alimentación vitrificable 16 se introduce de forma controlada en la cámara de reacción interior 30 a través de la entrada de material de alimentación 46. El material de alimentación vitrificable 16 no forma una manta de lote discontinua que descansa sobre la parte superior del vidrio fundido 18, sino que, más bien, se disuelve rápidamente y es consumido por el vidrio fundido agitado 18. El material de alimentación vitrificable disperso 16 se somete a una intensa transferencia de calor y una rápida disolución de partículas a través de la masa fundida de vidrio 18 debido a la vigorosa agitación de la masa fundida y las fuerzas de corte inducidas por el quemador o quemadores sumergidos 62. Esto hace que el material de alimentación vitrificable 16 se mezcle rápidamente, reaccione y se integre químicamente en el vidrio fundido 18. Sin embargo, la agitación y mezcla de la masa fundida de vidrio 18 mediante la descarga de los productos de combustión 68 también promueve la formación de burbujas dentro de la masa fundida de vidrio 18. En consecuencia, la masa fundida de vidrio 18 es de naturaleza espumosa e incluye una distribución homogénea de burbujas de gas atrapadas. Las burbujas de gas atrapadas pueden representar el 30% de volumen al 60% del volumen de la masa fundida de vidrio 18, que hace que la densidad de la masa fundida de vidrio 18 sea relativamente baja, normalmente entre 0.75 g/cm^3 hasta 1.5 g/cm^3 , o más estrechamente desde 0.99 g/cm^3 hasta 1.3 g/cm^3 , para vidrio de sosa-cal-sílice. Las burbujas de gas atrapadas dentro de la masa fundida de vidrio 18 varían de tamaño y pueden contener cualquiera de varios gases, incluido el CO_2 , H_2O (vapor), N_2 , SO_2 , CH_4 , CO , y compuestos orgánicos volátiles (VOCs).

[0039] El material de alimentación vitrificable 16 introducido en la cámara de reacción interior 30 tiene una composición que está formulada para proporcionar al vidrio fundido 18, particularmente en la salida de vidrio fundido 48, una composición química de vidrio predeterminada. El material

de alimentación vitrificable 16 por lo tanto, como mínimo, incluye materiales formadores de vidrio que reaccionan en fusión para formar vidrio que tiene una red desordenada a base de óxido. Por ejemplo, la composición química de vidrio de la masa fundida de vidrio 18 puede ser una composición química de vidrio de sosa-cal-sílice, en cuyo caso los materiales de formación de vidrio del material de alimentación vitrificable 16 pueden ser una mezcla física de materias primas vírgenes y opcionalmente vidrio de desecho (es decir, vidrio reciclado) que proporciona una fuente de SiO_2 , Na_2O , y CaO en las proporciones correctas junto con cualquiera de los otros materiales que se enumeran a continuación en la Tabla 2, incluido, más comúnmente, Al_2O_3 . Los materiales formadores de vidrio exactos incluidos en el material de alimentación vitrificable 16 están sujetos a mucha variación mientras aún pueden lograr la composición química de vidrio de sosa-cal-sílice como es generalmente bien conocido en la industria de fabricación de vidrio.

Tabla 2: Composición química del vidrio de sosa-cal-sílice

Componente	Peso %	Fuentes de materia prima/sin procesar
SiO_2	60– 80	Arena de cuarzo
Na_2O	8– 18	Ceniza de sosa
CaO	5– 15	Caliza
Al_2O_3	0– 2	Nefelina sienita, feldespato
MgO	0– 5	Magnesita
K_2O	0– 3	Potasa
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	0– 0.08	El hierro es un contaminante
MnO_2	0– 0.3	Dióxido de manganeso
SO_3	0– 0.5	Escoria, escorzo de sal
Se	0– 0.0005	Selenio
F	0– 0.5	Las fluorinas son un contaminante

[0040] Por ejemplo, para lograr una composición química de vidrio de sosa-cal-sílice en la masa fundida de vidrio 18, los materiales formadores de vidrio del material de alimentación vitrificable

16 pueden incluir materias primas vírgenes primarias tales como arena de cuarzo (SiO_2 cristalino), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y piedra caliza (CaCO_3) en las cantidades necesarias para proporcionar las proporciones necesarias de SiO_2 , Na_2O y CaO , respectivamente. También pueden incluirse otras materias primas vírgenes en el material de alimentación vitrificable 16 para contribuir con uno o más de SiO_2 , Na_2O , CaO , y posiblemente otros materiales de óxido y/o no óxido en la masa fundida de vidrio 18, dependiendo de la química deseada de la composición química del vidrio de cal-sosa-sílice y del color de los artículos de vidrio que se formen. Estas otras materias primas vírgenes pueden incluir escoria de feldespato, dolomita y calumita. Los materiales formadores de vidrio del material de alimentación vitrificable 16 pueden incluso incluir hasta un 80% en peso de vidrio de vidrio, dependiendo de una variedad de factores. Además de los materiales formadores de vidrio, el material de alimentación vitrificable 16 puede incluir materiales secundarios o menores que proporcionan a la composición química de vidrio de sosa-cal-sílice colorantes, decolorantes y/o agentes redox, y en algunos casos puede incluir un sulfato agente de afinado químico.

[0041] El vidrio fundido sin refinar 20 descargado del fundidor SC 12 a través de la salida de vidrio fundido 48 se extrae del vidrio fundido 18 y se homogeneiza químicamente a la composición química de vidrio deseada, por ejemplo, una composición química de vidrio de sosa-cal-sílice, pero con la misma densidad relativamente baja y volumen arrastrado de burbujas de gas que el vidrio fundido 18. El vidrio fundido sin refinar 20 fluye hacia el recipiente de afinado 14 conforme el flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 22 ya sea directamente o a través de un tanque intermedio de enfriamiento o retención que puede sedimentar y moderar la tasa de flujo/caudal del flujo del flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 22. El flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 22 se introduce en la cámara de afinado 72 a través de la entrada 80 y se combina con el

baño de vidrio fundido 24 y es absorbido por él. La mezcla del flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 22 con el baño de vidrio fundido 24 introduce las burbujas de gas en el baño de vidrio 24. A medida que el baño de vidrio fundido 24 fluye más allá de los desnatadores 98a, 98b, 98c y a través de las diversas secciones 106, 108, 110 de la cámara de afinado 72, las porciones 24a, 24b, 24c del baño de vidrio fundido 24 se vuelven más finas como burbujas de gas se eliminan ascendiendo a la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24 y estallando o, en menor medida, disolviéndose en la matriz de vidrio.

[0042] En última instancia, como resultado del proceso de afinado, el flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 extraído de la porción 24c del baño de vidrio fundido 24 recogido en la sección de entrega 110 de la cámara de afinado 72 y descargado a través de la salida 82 satisface el estándar aplicable para vidrio fundido refinado. El vidrio fundido puede considerarse "refinado" si no incluye burbujas de gas con un diámetro de 0.8 mm o más (dichas burbujas se conocen como "ampollas") e incluye menos de dos burbujas por gramo, o más preferiblemente menos de 0.5 burbujas por gramo, de burbujas que tienen un diámetro de menos de 0.8 mm (dichas burbujas se conocen como "semillas"). Además, en el caso del vidrio de sosa-cal-sílice, la densidad del vidrio fundido refinado suele oscilar entre 2.3 gm/cm^3 y 2.5 gm/cm^3 . Con ese fin, el flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 que sale del recipiente de afinado 14 (densidad del vidrio de 2.3 g/cm^3 hasta 2.5 g/cm^3) tiene una densidad mayor que el flujo de entrada de vidrio fundido sin refinar 20 que ingresa al recipiente de afinado 14 (densidad del vidrio de 0.75 g/cm^3 hasta 1.5 g/cm^3) a medida que la densidad del vidrio del baño de vidrio fundido 24 aumenta entre un 75% y un 155% dentro de la cámara de afinado 72 a lo largo de la dirección de flujo F desde la entrada 80 a la salida 82.

[0043] La velocidad a la que suben las burbujas de gas a través del baño de vidrio fundido 24 y, por lo tanto, la velocidad y la eficiencia del proceso de afinado, se mejora al lograr una viscosidad adecuadamente baja del baño de vidrio fundido 24 y/o al introducir un agente de afinado químico de sulfato en el baño de vidrio fundido 24 vía masa fundida de vidrio 18. Calentando el baño de vidrio fundido 24 para mantener o reducir la viscosidad del vidrio fundido, la velocidad a la que suben las burbujas de gas a través del baño de vidrio fundido 24 aumenta de acuerdo con la ley de Stokes. A través de un mecanismo notablemente diferente, un agente de afinado químico de sulfato, como el sulfato de sodio (escoria de sal), se descompone dentro del vidrio fundido 18 y el baño de vidrio fundido 24 para liberar O_2 y SO_2 como gases depuradores de barrido de burbujas nativas. Los gases de afinado de O_2 y SO_2 que llegan al baño 24 de vidrio fundido más tranquilo ascienden rápidamente a la superficie 24' del baño 24 de vidrio fundido, donde finalmente salen del baño de vidrio 24 y explotan, y durante su ascensión barren o absorben burbujas de gas nativo más pequeñas a lo largo del camino. Los gases de afinado de O_2 y SO_2 también pueden disolverse en la matriz de vidrio del baño de vidrio fundido 24 y luego difundirse en las burbujas nativas más pequeñas para aumentar el tamaño y la tasa de aumento de flotabilidad de esas burbujas.

[0044] El método descrito equilibra eficazmente el afinado térmico y el afinado químico del baño de vidrio fundido 24 basándose en el hallazgo de que existe una temperatura, a la que se hace referencia en el presente documento como la "temperatura mínima de afinado del vidrio", en la cual el afinado químico con un agente de afinado químico de sulfato no contribuye más al proceso general de afinado más allá del impacto de la afinado térmico. En particular, se ha determinado que un agente de afinado químico de sulfato tiene un impacto insignificante en la velocidad a la que se eliminan las burbujas del baño de vidrio fundido 24 cuando la temperatura del baño de vidrio 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 alcanza o supera una cierta

temperatura, es decir, la temperatura mínima de afinado del vidrio. Cuando la temperatura del baño de vidrio fundido 24, determinada dentro de la zona de indicación de temperatura 118, es igual o mayor que la temperatura mínima de afinado del vidrio, predomina el mecanismo de afinado térmica y un agente de afinado químico de sulfato tendrá poco o ningún impacto en la eficiencia del proceso de afinado o la calidad del vidrio fundido refinado. A la inversa, cuando la temperatura del baño de vidrio fundido 24, determinada dentro de la zona de indicación de temperatura 118, es menor que la temperatura mínima de afinado del vidrio, un agente de afinado químico de sulfato puede impactar en el clarificado del baño de vidrio fundido 24. La “temperatura mínima de afinado del vidrio” del baño de vidrio fundido 24 puede determinarse mediante cálculo, modelado, ensayo y error o algún otro enfoque cuantitativo o experimental. Para el vidrio de sosa-cal-sílice, la temperatura mínima de afinado del vidrio se encuentra típicamente entre 1220 °C y 1260 °C. De hecho, se ha demostrado que una temperatura mínima de afinado de vidrio fijada en 1240 °C es un buen predictor de si el afinado químico valdrá la pena.

[0045] La temperatura del baño de vidrio fundido 24 en cualquier lugar dentro de la zona de indicación de temperatura 118 es monitorizada a lo largo del tiempo por el sensor de temperatura 122. Los datos de temperatura recopilados por el sensor de temperatura 122 se comunican a un sistema informático automatizado y manualmente interactivo que a menudo se observa y controla dentro de una sala de control. La temperatura del baño de vidrio fundido 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 se compara de manera continua o intermitente con la temperatura mínima de afinado del vidrio asociada con la química particular del vidrio del vidrio fundido que constituye el baño de vidrio fundido 24. Basándose en esa comparación, se controla la cantidad de un agente de afinado químico de sulfato añadida a la masa fundida de vidrio 18 dentro del fundidor SC 12. El agente de afinado químico de sulfato, un término que abarca uno o más

compuestos de afinado de sulfato, se puede agregar al vidrio fundido 18 mezclándolo con los materiales formadores de vidrio en el material de alimentación vitrificable 16 o dosificándolo por separado en el vidrio fundido 18. desde una entrada auxiliar 124 equipada con un equipo de medición dedicado más adecuado para las adiciones precisas de cantidades más pequeñas de material en relación con las cantidades de materia prima vitrificable 16 añadidas a través de la entrada de material de alimentación 46. En algunos casos, el agente de afinado químico de sulfato se puede añadir en parte a través de la entrada 46 de material de alimentación (junto con los materiales formadores de vidrio del material de alimentación vitrificable 16) mientras que también se añade en parte a través de la entrada auxiliar 24.

[0046] La cantidad de agente de afinado químico de sulfato añadida a la masa fundida de vidrio 18 puede controlarse para que el agente de afinado de sulfato no se desperdicie al ser añadido innecesariamente a la masa fundida de vidrio 18 cuando las condiciones en el baño de vidrio fundido 24 indican que el afinado químico es poco probable que contribuya al proceso general de afinado. Por ejemplo, si la temperatura del baño de vidrio fundido 24 según se determina dentro de la zona de indicación de temperatura 118 es menor que la temperatura mínima de afinado del vidrio, el agente de afinado químico de sulfato se puede agregar a la masa fundida de vidrio 18 para mejorar el afinado dentro del baño de vidrio fundido 24 a través de la liberación de gases de afinado de O_2 y SO_2 . La cantidad de agente de afinado químico de sulfato añadida a la masa fundida de vidrio 18 puede calcularse para proporcionar un contenido de sulfato retenido, es decir, disuelto, en la masa fundida de vidrio 18 y el vidrio fundido sin refinar 20 descargado del fundidor SC 12 de al menos 0.04% en peso y, más preferiblemente, entre 0.04% en peso y 0.2% en peso, expresado como SO_3 .

[0047] Por el contrario, si la temperatura del baño de vidrio fundido 24 según se determina dentro de la zona de indicación de temperatura 118 es igual o mayor que la temperatura mínima de afinado del vidrio, la adición del agente de afinado químico de sulfato puede suspenderse o detenerse por completo, o una cantidad limitada del agente de afinado químico de sulfato se puede añadir a la masa fundida de vidrio 18 según sea necesario para algún otro propósito, como ajustar el redox del vidrio o promover una determinada coloración (por ejemplo, vidrio ámbar), además del afinado. En ese caso, la cantidad del agente de afinado químico de sulfato añadido a la masa fundida de vidrio puede calcularse para proporcionar un contenido de sulfato retenido en la masa fundida de vidrio 18 y el vidrio fundido sin refinar 20 descargado del fundidor SC 12 de menos del 0.04% en peso y, más preferiblemente, de entre 0% en peso y 0.02% en peso, expresado como SO_3 .

[0048] El sulfato retenido en el vidrio fundido 18 y el vidrio fundido sin refinar 20 descargado del fundidor SC 12 de 0.04% en peso y más se pueden obtener mezclando escoria de sal, por ejemplo, en el material de alimentación vitrificable 16 en una cantidad que varía de 0.05% en peso a 1.0% en peso basado en la cantidad total de material de alimentación vitrificable 16. Por otro lado, el sulfato retenido en el vidrio fundido 18 y el vidrio fundido sin refinar 20 descargado del fundidor SC 12 de menos del 0.04% en peso pueden obtenerse mezclando escoria de sal, por ejemplo, en el material de alimentación vitrificable 16 en una cantidad que varía de 0% en peso a 0.05% en peso basado en la cantidad total del material de alimentación vitrificable 16. Por supuesto, la cantidad de agente de afinado de sulfato añadido a la masa fundida de vidrio 18 que se necesita para producir el contenido de sulfato retenido deseado puede variar dentro de los rangos identificados anteriormente e incluso fuera de esos rangos dependiendo de una variedad de condiciones de operación del fundidor SC que también afectan la retención de sulfato. Estas condiciones

operativas incluyen la temperatura de la masa fundida de vidrio 18, el tiempo de residencia de la masa fundida de vidrio 18 y la relación redox $[(\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+}))]$ del vidrio fundido 18.

[0049] La temperatura del baño de vidrio fundido 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 puede no alcanzar la temperatura mínima de afinado del vidrio por varias razones, provocando así la adición de un agente de afinado químico de sulfato en la masa fundida de vidrio 18 para ayudar al proceso general de afinado. Como se explicó anteriormente, cuando el flujo entrada de vidrio fundido sin refinar 22 ingresa a la cámara de afinado 72 a través de la entrada 80, las burbujas grandes del tamaño de una ampolla atrapadas en el vidrio subirán rápidamente a la superficie 24' del baño de vidrio fundido 24, lo que posiblemente resulte en una capa de espuma acumulada en la parte superior del baño de vidrio fundido 24. La capa de espuma aísla el baño de vidrio fundido 24 subyacente y puede evitar la penetración de calor profundamente en el baño 24 de vidrio tanto en la sección de recepción 106 como posiblemente en la sección de acondicionamiento 107 de la cámara de afinado 72. En estas condiciones, puede resultar difícil calentar el baño de vidrio fundido 24 lo suficiente para elevar la temperatura del baño de vidrio 24 dentro de la zona de indicación de temperatura 118 hasta la temperatura mínima de afinado del vidrio. El método descrito puede adaptarse a escenarios en los que el baño de vidrio fundido 24 no se puede calentar como se desea, o no se desea calentar, de modo que puede ser necesario un afinado químico además del afinado térmico para lograr vidrio fundido refinado adecuadamente, y también puede manejar el adición de un agente de afinado de sulfato en la masa fundida de vidrio 18 en base a la temperatura del baño de vidrio fundido 24 para minimizar las adiciones innecesarias del agente de afinado químico de sulfato en la masa fundida de vidrio 18 cuando es poco probable que el afinado química sea efectivo.

[0050] El flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 descargado del recipiente de afinado 14 puede procesarse adicionalmente en artículos de vidrio que incluyen, por ejemplo, recipientes de vidrio. Con ese fin, el flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 puede tener una composición química de vidrio de sosa-cal-sílice según lo dictado por la formulación del material de alimentación vitrificable 16 y, en particular, los materiales formadores de vidrio incluidos en el material de alimentación 16. Un proceso 130 para formar contenedores/recipientes de vidrio a partir del flujo de salida de vidrio fundido refinado 26 se representa en la FIG. 8. El proceso 130 de formación del recipiente incluye un paso de acondicionamiento térmico 132 y un paso de formación del recipiente de vidrio 134. Bajo ciertas circunstancias, el flujo de salida del vidrio fundido refinado 26 descargado del recipiente de afinado 14 puede estar ya acondicionado térmicamente en el sentido de que exhibe la viscosidad deseada, es decir, entre 10^3 Pa•s y 10^4 Pa•s: para operaciones de formación de contenedores. En esas situaciones, se puede omitir el paso 132 de acondicionamiento térmico del proceso 130 como se describe a continuación.

[0051] En el paso de acondicionamiento térmico 132, el flujo de salida del vidrio fundido refinado 26 descargado del recipiente de afinado 14 se acondiciona térmicamente si la viscosidad de la porción 24c del baño de vidrio fundido 24 en la sección de entrega 110 es demasiado baja para las operaciones de formación de recipientes. Por lo tanto, el acondicionamiento térmico puede implicar enfriar el flujo de salida del vidrio fundido refinado 26 a una velocidad controlada para lograr una viscosidad del vidrio adecuada para las operaciones de formación de vidrio, al mismo tiempo que se logra un perfil de temperatura más uniforme dentro del vidrio 126. El flujo de salida del vidrio fundido refinado 26 se enfría preferiblemente a una temperatura entre 1000°C y 1200°C si no está ya acondicionado térmicamente. El acondicionamiento térmico del flujo de salida del vidrio fundido refinado 26 puede realizarse en un antecrisol/precalentador (“forehearth”) que

recibe el flujo de salida del vidrio fundido refinado 26 desde la salida 82 del recipiente de afinado 14. Un antecrisol es una estructura alargada que define un canal extendido a lo largo del cual unos quemadores montados en la parte superior y/o en la pared lateral pueden reducir de manera constante y gradual la temperatura del vidrio fundido refinado que fluye. Cuando se posiciona un antecrisol aguas abajo del recipiente de afinado de vidrio 14 para recibir y acondicionar térmicamente el flujo de salida de vidrio fundido refinado 26, la boquilla 86 ilustrada en las FIGS. 3-4 se pueden excluir del recipiente de afinado 14 para permitir una mejor comunicación de flujo entre el recipiente de afinado 14 y el antecrisol. El recipiente de afinado 14 y el antecrisol pueden ser estructuras separadas o combinarse en una única estructura compartimentada.

[0052] Los recipientes de vidrio se forman a partir del flujo de salida acondicionado térmicamente de vidrio 26 fundido refinado en el paso de formación 134. En algunos procesos estándar de formación de recipientes, el flujo de salida acondicionado térmicamente de vidrio fundido refinado 26 puede descargarse de la boquilla 86 unida al recipiente de afinado 14 o una boquilla similar unida al antecrisol (si es necesario) como corrientes o canales de vidrio fundido. A continuación, los canales de vidrio fundido se cortan en trozos individuales de un peso predeterminado. Cada gota se entrega a través de un sistema de suministro de gotas a un molde en bruto (“blank mold”) de una máquina de formación de contenedores. En otros procesos de formación de recipientes de vidrio, sin embargo, el vidrio fundido se hace fluir directamente desde la salida 82 del recipiente de afinado de vidrio 14 o una salida del antecrisol (si es necesario) al molde en bruto para llenar el molde con vidrio. Una vez en el molde en bruto, y con su temperatura todavía entre 1000°C y 1200°C, el vidrio fundido se prensa o sopla en un parisón o preforma que incluye una pared tubular. El parisón se transfiere entonces desde el molde en bruto a un molde de soplado de la máquina formadora de envases de vidrio para darle la forma final al envase. Una vez que el parisón se

recibe en el molde de soplado, el molde de soplado se cierra y el parisón se sopla rápidamente hacia afuera en la forma del recipiente final que coincide con el contorno de la cavidad del molde usando un gas comprimido como aire comprimido. Por supuesto, se pueden implementar otros enfoques para formar los recipientes de vidrio además de las técnicas de conformación por presión-y-soplado y soplado-y- soplado que incluyen, por ejemplo, compresión u otras técnicas de moldeo.

[0053] El recipiente de vidrio formado dentro del molde de soplado tiene una base cerrada axialmente y una pared circunferencial. La pared circunferencial se extiende desde la base cerrada axialmente hasta una boca que define una abertura a un espacio de contención definido por la base cerrada axialmente y la pared circunferencial. El recipiente de vidrio se deja enfriar mientras está en contacto con las paredes del molde de soplado y luego se saca del molde de soplado y se coloca en un transportador u otro dispositivo de transporte. Luego, el recipiente de vidrio se recalienta y enfría a una velocidad controlada en un horno de recocido para relajar la tensión inducida térmicamente y eliminar los puntos de tensión internos. El recocido del recipiente de vidrio consiste en calentar el recipiente de vidrio hasta una temperatura superior al punto de recocido de la composición química del vidrio de sosa-cal-sílice, que suele estar entre 510°C y 550°C, seguido de un enfriamiento lento de los recipientes a una velocidad de 1°C/min a 10°C/min hasta una temperatura inferior al punto de deformación de la composición química del vidrio de sosa-cal-sílice, que suele estar entre 470°C y 500°C. El recipiente de vidrio puede enfriarse rápidamente una vez que se haya enfriado a una temperatura inferior al punto de deformación. Además, se puede aplicar cualquiera de una variedad de recubrimientos a la superficie del recipiente de vidrio antes (recubrimientos de extremo caliente) o después del recocido (recubrimientos de extremo frío) por cualquiera de una variedad de razones.

Ejemplo

[0054] Se realizó un experimento para ayudar a demostrar la relación entre la temperatura de un baño de vidrio fundido, particularmente cuando se determina dentro de una zona de indicación de temperatura como se discutió anteriormente, y la contribución que puede tener el afinado químico con un agente de afinado químico de sulfato en el proceso general de afinado. En el experimento, se realizaron varias pruebas de producción y afinado de vidrio con diferentes cantidades de fuentes de sulfato agregadas al material de alimentación vitrificable que se alimentó al fundidor de combustión sumergida y, por lo tanto, diferentes cantidades de sulfato retenido (expresado como SO_3) en el vidrio fundido producido por SC. La temperatura en el fondo del baño de vidrio fundido en la zona de indicación de temperatura, que estaba ubicada dentro de la zona de acondicionamiento de la cámara de afinado, también se varió con respecto a una temperatura mínima de afinado del vidrio de 1240°C aplicable a este experimento. La salida de vidrio del recipiente de afinado para cada corrida se examinó para el recuento de burbujas (burbujas por gramo) y se representó frente a la temperatura medida del baño de vidrio fundido en el recipiente de afinado. Los datos graficados se representan en la FIG. 9

[0055] Como se muestra en la FIG. 9, la presencia de más de 0.04% en peso de sulfato retenido en el vidrio fundido producido por-SC (círculos sólidos) introducido en el afinador mejoró el afinado del vidrio cuando la temperatura medida en la zona de indicación de temperatura del baño de vidrio fundido estaba por debajo de 1240°C . Sin embargo, cuando el contenido de sulfato retenido en el vidrio producido con SC era inferior al 0.04% en peso (círculos abiertos) y la temperatura medida en la zona de indicación de temperatura del baño de vidrio fundido era inferior a 1240°C , el recuento de burbujas a menudo superaba las 0.5 semillas por gramo. Como tal, cuando la temperatura del baño de vidrio fundido en la zona de indicación de temperatura estaba por debajo de 1240°C , el aumento de la cantidad de sulfato retenido en el vidrio fundido producido

por SC procedente del fundidor de combustión sumergida hasta al menos el 0.04% en peso provocó una disminución en los recuentos de semillas a menos de 0.5 semillas por gramo, incluso con condiciones de funcionamiento comparables en el recipiente de afinado. Pero cuando la temperatura medida en la zona de indicación de temperatura del baño de vidrio fundido estaba por encima de 1240°C, la calidad del vidrio se mantuvo independientemente del contenido de sulfato retenido en el vidrio producido con SC.

[0056] Además, se realizaron varias pruebas de producción y afinado de vidrio en las que todas las fuentes primarias de sulfato (por ejemplo, escoria de sal, sulfuros, deshecho y calcin/cullet, etc.) se eliminaron del material de alimentación vitrificable introducido en el fundidor de combustión sumergida. Cualquier sulfato retenido que estuviera presente en el vidrio fundido producido por SC era una impureza de otros materiales que, no obstante, medían por debajo del 0.01% en peso expresado como SO_3 . A pesar de los niveles muy bajos de sulfato retenido, una observación del vidrio afinado no reveló ampollas y recuentos de semillas consistentemente por debajo de 0,5 semillas por gramo siempre que la temperatura medida en la zona de indicación de temperatura del baño de vidrio fundido se mantuviera por encima de 1240°C. A partir del experimento y las pruebas anteriores, se puede ver que el agente de afinado químico de sulfato generalmente no mejoró la tasa de afinado por encima de la atribuida al afinado térmico, ni mejoró apreciablemente la calidad del vidrio, cuando la temperatura en la parte inferior de la sección de acondicionamiento excedió la temperatura mínima de afinado del vidrio de 1240°C que era aplicable a este experimento.

[0057] Por lo tanto, se ha dado a conocer un método de producción de vidrio utilizando la tecnología de fusión por combustión sumergida y el afinado del vidrio fundido producido por SC que satisface uno o más de los objetos y objetivos expuestos anteriormente. El vidrio fundido

puede transformándose posteriormente en artículos de vidrio, incluyendo, por ejemplo, recipientes de vidrio. La divulgación se ha presentado junto con varias realizaciones ilustrativas, y se han discutido modificaciones y variaciones adicionales. Otras modificaciones y variaciones se les sugerirán fácilmente a los expertos en la técnica en vista de la discusión anterior. Por ejemplo, el objeto de cada una de las realizaciones se incorpora aquí como referencia en cada una de las otras realizaciones, por conveniencia. La descripción pretende abarcar todas las modificaciones y variaciones que caen dentro del espíritu y el amplio alcance de las reivindicaciones adjuntas.