

Método para la fabricación de una lámina plana de espuma que comprende PET reciclado y el producto resultante del mismo

Solicitud Relacionada

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. n.º: 63/136,891 presentada el 13 de enero de 2021, que se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad.

Campo de la Invención

Esta invención se refiere a un método para la fabricación de lámina de espuma multicapa a partir de fuentes de poliéster reciclado, que se puede usar para aplicaciones de envasado.

Antecedentes

El PET se considera un material económico y ampliamente disponible comercialmente que posee un módulo alto, una temperatura de distorsión alta, es químicamente resistente y puede ser totalmente reciclable. El PET es un material auspicioso con un alto potencial en diversos mercados, específicamente en la industria del envasado, proporcionando encontrar una solución o remedio para hacer frente a las falencias de la resina base. Por ejemplo, cinética de cristalización lenta, higroscopicidad, que da como resultado hidrólisis durante el procesamiento a alta temperatura, comportamiento de fractura frágil, oxidación durante el procesamiento. Además, el PET se puede cristalizar aún más durante el tratamiento térmico, la denominada cristalización en frío, y es muy quebradizo después de la cristalización. El PET se vuelve gomoso a 80°C, lo que hace que el uso de PET en muchas aplicaciones no sea factible. Entonces, para poder usar PET para aplicaciones en la industria del envasado que necesitan soportar altas temperaturas y mantener la estabilidad dimensional, la estructura del PET se puede reforzar con cristales de PET que son estables hasta 250°C, lo que da como resultado que el envasado mantenga su geometría y integridad cuando la temperatura supera los 80°C; por lo tanto, el envasado debe ser altamente cristalino. Por lo tanto, es beneficioso controlar la cinética de cristalización agregando agentes de nucleación, promotores del crecimiento de cristales, así como ajustar la velocidad de enfriamiento para inducir cristales y controlar con precisión el grado de cristalinidad necesario para desarrollar ciertas propiedades específicas en los productos terminados.

El PET de fuentes recicladas (rPET), como el poliéster posindustrial y posconsumo, el PET triturado y las escamas de botellas de PET recicladas, han captado mucha atención debido a la capacidad de reciclaje de la resina de PET, que puede resultar en un proceso sostenible. Por ejemplo, las botellas de PET posconsumo recolectadas se someten primero a un proceso de recuperación en el que se separan y clasifican de las botellas que no son de PET, también por color. Luego, se muelen en pedazos pequeños con un tamaño promedio de escama típicamente entre 6 y 14 mm. Las etiquetas, los adhesivos de etiquetas, las tapas, los asientos, algunas capas de plástico diferente y los revestimientos, así como la suciedad y el contenido residual, se eliminan del material de la botella y se lavan, lo que da como resultado un producto, las llamadas escamas de botella.

Sin embargo, las dificultades en el procesamiento de rPET y la cantidad de pasos de preprocesamiento pueden resultar en un proceso costoso. Las resinas PET vírgenes convencionales y el rPET no poseen las propiedades reológicas adecuadas para la extrusión de espuma con un agente de expansión físico donde la alta viscosidad y la resistencia a la fusión son parámetros decisivos. La inherente baja resistencia a la fusión a altas temperaturas de procesamiento en el PET no modificado puede causar una cantidad significativa de ruptura celular y coalescencia en el proceso de formación de espuma. Por otro lado, una de las principales desventajas del PET es la higroscopicidad y, en consecuencia, la hidrólisis durante el proceso de extrusión a alta temperatura, lo que hace que la viscosidad intrínseca (V.I.) del PET disminuya significativamente. Esto hace que el procesamiento de PET con una baja V.I. aún más complicado, específicamente para la formación de espuma.

Por lo tanto, generalmente para aplicaciones como el moldeo por extrusión y soplado y la formación de espuma, las resinas de PET se modifican a través de las reacciones de extensión y ramificación de la cadena, ya sea a través de la extrusión reactiva agregando reactivos bifuncionales o polifuncionales, por ejemplo agentes espesantes, o policondensación en estado sólido, ambos de los cuales puede dar como resultado mejores propiedades reológicas y resistencia a la fusión.

Sin embargo, la aplicación práctica de los compuestos de extrusión reactiva está limitada debido a la gran cantidad de reacciones secundarias severas o la formación de subproductos perjudiciales. A medida que aumenta el peso molecular del PET durante el proceso de acoplamiento de la cadena reactiva, el calentamiento inducido por cizallamiento aumenta drásticamente. Además, la cantidad excesiva de extensores de cadena durante la extrusión reactiva puede dar como resultado una ramificación molecular desfavorable e incluso un entrecruzamiento, lo que puede dificultar gravemente la formación y el crecimiento de cristales, lo que conduce a una disminución de las propiedades y el desempeño del

producto. Aunque la polimerización en estado fundido estándar puede producir un compuesto de PET modificado con un peso molecular en el rango de, por ejemplo, un promedio numérico de aproximadamente $M_n = \sim 15000$ a ~ 25000 , pero para aplicaciones tales como moldeo por inyección, moldeo por soplado y formación de espuma, se prefiere un peso molecular más alto, por ejemplo, un promedio numérico mayor que aproximadamente $M_n = \sim 30000$ y, en algunos casos, es necesario, lo que es factible de lograr usando polimerización en estado sólido.

El proceso de solidificación, que se realiza convencionalmente en un cristalizador y un reactor de polimerización a alta temperatura y alto nivel de vacío durante un período prolongado, se caracteriza por costos de producción y capital muy elevados y requiere un proceso por lotes intensivo en energía y tiempo. Inicialmente en la fase de fusión, y luego después del paletizado y granulación de los gránulos amorfos, se logra un promedio numérico de alrededor de $M_n = \sim 16000$ a ~ 19000 , es decir, la viscosidad intrínseca de alrededor de 0,58 a 0,68. Luego, en el primer paso de la policondensación en estado sólido, el grado de cristalinidad de los gránulos o pellets polimerizados por fusión aumentará hasta aproximadamente un 40 % dentro de un cristalizador. En el segundo paso, los gránulos o pellets cristalizados experimentan una policondensación en estado sólido dentro de un reactor de polimerización en condiciones de vacío o gas inerte a una temperatura elevada de aproximadamente 180°C a 240°C y requiere un tiempo de residencia de aproximadamente 12 horas. En este proceso, se puede lograr un número promedio numérico de alrededor de $M_n = \sim 27000$ a ~ 38000 , es decir, V.I. de aproximadamente 0,9 a 1,2, medido según la norma ASTM D4603-18. Por lo general, en el proceso de policondensación en estado sólido, cada aumento de 0,1 dL/g en la viscosidad intrínseca requiere aproximadamente 10 horas. Aunque se han desarrollado varios tipos de aditivos como aceleradores para reducir el tiempo de residencia, aún no se ha logrado práctica e industrialmente una reducción de más del 50 % en el tiempo de residencia, por ejemplo, menos de aproximadamente 5 horas por cada 0,1 dL/g de aumento de V.I.

En su patente US5422381, incorporada aquí en su totalidad, Al Ghatta et al. divulgaron un proceso para la fabricación de un poliéster celular de baja densidad después de modificar la V.I. de las resinas de PET que tienen la V.I. de más de 0,8 dl/g por policondensación en estado sólido usando dianhídrido piromelítico.

La patente US5391582, incorporada aquí en su totalidad, divulga un proceso para la fabricación de espuma de PET usando una mezcla de PET altamente ramificado y PET reciclado e incorporando un extensor de cadena o un agente de reticulación a la corriente fundida.

Por lo tanto, sería beneficioso innovar un proceso para la fabricación de láminas de espuma multicapa que comprenda hasta un 100 % de PET a partir de fuentes recicladas (rPET), por ejemplo, escamas de botellas de PET, donde las escamas de rPET se pueden alimentar directamente al equipo de procesamiento sin necesidad de cualquier modificación de la estructura del polímero, ya sea a través de policondensación en estado sólido o extrusión reactiva en estado fundido para aumentar la V.I., por ejemplo, mediante la inclusión de cualquier agente que mejore la viscosidad, agente espesante, agente de reticulación, agente de ramificación de cadena, agente de extensión de cadena, etc. Esto puede resultar en la eliminación de la necesidad de usar equipos costosos, por ejemplo, un reactor de estado sólido, y evitar costos de producción y de capital muy elevados, y procesos por lotes intensivos en tiempo y energía.

Resumen de la Descripción

En el presente documento, se describe un método para la fabricación de lámina de espuma multicapa usando materia prima de poliéster de baja V.I., que se puede usar para aplicaciones de envasado. La lámina puede tener una superficie lisa, lo que da como resultado una calidad de impresión superior y una rigidez a la flexión lo suficientemente alta como para reemplazar los tipos de cartones de papel que se usan actualmente en la industria del envasado.

En un aspecto, se proporciona un método para la fabricación de lámina de espuma multicapa. El método comprende proporcionar un sistema de coextrusión que comprende al menos dos extrusoras de un solo tornillo. El método comprende además alimentar materia prima de poliéster de baja V.I. que comprende escamas de poliéster de fuentes recicladas, en donde hasta el 100% del poliéster en la materia prima comprende escamas de poliéster de fuentes recicladas, en una de las extrusoras. La materia prima de poliéster mencionada anteriormente tiene una viscosidad intrínseca (V.I.) menor que 0,8 dL/g según la norma ASTM D4603-18. El método también comprende introducir un agente de expansión físico supercrítico en la materia prima de poliéster fundido en al menos una de las extrusoras. El método comprende además procesar la materia prima de poliéster a una temperatura de procesamiento en el rango de 15% por debajo y 15% por encima de la temperatura de fusión; y coextruir la materia prima de poliéster de las extrusoras del sistema de coextrusión a través de una matriz de lámina plana para fabricar una lámina de espuma multicapa, en la que al menos una capa es una capa de espuma que comprende poliéster de baja V.I.

En otro aspecto, se proporciona una lámina de espuma multicapa ligera coextruida. La lámina comprende al menos una capa de espuma que comprende rPET, que incluye una pluralidad de celdas, donde al menos el 10% de las celdas son celdas cerradas, y dos o más capas sólidas, cada capa sólida comprendiendo PET. La lámina tiene un espesor total igual o mayor que 5 milésimas de pulgada. La lámina tiene un valor de rigidez a la flexión mayor que 20 en unidades de rigidez Taber de acuerdo con TAPPI/ANSI T 489 om-15, y la relación de la masa por unidad de área (la masa de una unidad de área de la lámina en gramos por metro -cuadrado (gr/m^2)) sobre el valor de rigidez a la flexión en unidades de rigidez Taber es igual o menor que 20.

En otro aspecto, se proporciona una lámina de espuma multicapa ligera coextruida. La lámina comprende al menos una capa de espuma que comprende rPET, que incluye una pluralidad de celdas, donde al menos el 10% de las celdas son celdas cerradas, y dos o más capas sólidas que comprenden PET. La lámina tiene un espesor total igual o mayor que 5 milésimas de pulgada. La lámina tiene una lisura Sheffield promedio menor que 100, de acuerdo con TAPPI T 538.

Otros aspectos, realizaciones, ventajas y características se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada.

Descripción detallada

Las formas singulares “un”, “una” y “el/la” incluyen referentes plurales a menos que el contexto dicte claramente lo contrario.

Todos los rangos divulgados en este documento incluyen el punto final indicado y se pueden combinar de forma independiente (por ejemplo, el rango de la relación de expansión de la capa espumada de 1 a 9” incluye los puntos finales 1 y 9, y todos los valores intermedios. En el mismo contexto, por ejemplo, una V.I. mayor que aproximadamente 0,55 dL/g incluye el punto final, 0,55 dL/g).

Como se usa en el presente documento, el lenguaje de aproximación se puede aplicar para modificar cualquier representación cuantitativa que pueda variar sin que resulte en un cambio en la función básica con la que está relacionada. En consecuencia, un valor modificado por un término o términos, como “aproximadamente ” y “sustancialmente”, puede no estar limitado al valor preciso especificado. También se debe considerar que el modificador “alrededor de” divulga el rango definido por el valor absoluto de los dos puntos finales.

Como se usa en el presente documento, el término "ligera" se refiere al valor de la densidad aparente de los productos descritos en el presente documento que es menor o igual que la densidad de su contraparte sólida hecha de la resina base virgen asociada, o la densidad de la resina base virgen asociada. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los valores de densidad aparente de los productos de esta invención pueden ser de $1,05 \text{ gr/cm}^3$, que es menor que el valor de densidad de la resina base virgen asociada de $1,38 \text{ gr/cm}^3$ o menor que el valor de densidad aparente de $1,38 \text{ gr/cm}^3$ de su contraparte sólida elaborada a partir de la resina base virgen asociada.

Como se usa en este documento, el término "poliéster de baja V.I." se refiere a que la Viscosidad Intrínseca del poliéster es menor que $0,8 \text{ dL/g}$ según la norma ASTM D4603-18. En algunas realizaciones, el poliéster de baja V.I. tiene una viscosidad intrínseca del poliéster que es menor que $0,7 \text{ dL/g}$ según la norma ASTM D4603-18. En algunas realizaciones, el poliéster de baja V.I. tiene una viscosidad intrínseca del poliéster que es menor que $0,6 \text{ dL/g}$ según la norma ASTM D4603-18.

Como se usa en el presente documento, el término "temperatura de fusión" se refiere a la temperatura máxima de fusión del polímero medida por calorimetría diferencial de barrido (DSC) según la norma ASTM D3418.

Como se usa en este documento, el término "temperatura de procesamiento" se refiere a la temperatura de la masa fundida medida en la entrada de la matriz de extrusión. En algunas realizaciones, dicha temperatura puede medirse a la salida de la extrusora o en la última zona de calentamiento de la extrusora.

Como se describió anteriormente, cuando el poliéster de baja V.I., (es decir, una V.I. menor que $0,8 \text{ dL/g}$ según la norma ASTM D4603-18), se procesa a temperaturas de procesamiento convencionales, apenas posee las propiedades reológicas que pueden dar como resultado una resistencia a la fusión lo suficientemente alta para aplicaciones de espumado por extrusión. La temperatura de procesamiento convencional del PET en extrusión es la combinación de temperaturas de diferentes zonas de la extrusora que generalmente están muy por encima de la temperatura de fusión del PET que, típicamente en la mayoría de los casos, es de aproximadamente 250°C . La temperatura de procesamiento del PET se refiere a la temperatura de la masa fundida medida a la entrada de la matriz de extrusión, y normalmente está muy por encima de la temperatura de fusión mencionada anteriormente. En el proceso de extrusión de espuma de PET, tener una resistencia a la fusión baja puede causar una cantidad considerable de coalescencia celular y ruptura de la pared celular durante la formación de espuma, lo que resulta en el

colapso de la estructura celular cuando se produce la espuma. Una solución convencional es modificar la estructura molecular del poliéster para mejorar la resistencia a la fusión. Por lo tanto, la materia prima de poliéster puede someterse a cualquiera de los tres métodos de incremento de la V.I. mencionados anteriormente, por ejemplo, policondensación en estado sólido o extrusión por fusión reactiva con aditivos para inducir la extensión de la cadena o la ramificación o reticulación de la cadena.

Por otro lado, las propiedades reológicas de los termoplásticos, incluidas las resinas de poliéster, por ejemplo, PET, dependen en gran medida de la temperatura y la presión de procesamiento; por lo tanto, obviamente, la resina muestra una mayor resistencia a la fusión a medida que disminuye la temperatura y aumenta la presión. Sin embargo, el procesamiento del PET a una temperatura mucho más baja que su temperatura de procesamiento convencional, por ejemplo, en algunos casos más baja que la temperatura de fusión del PET, aún no es industrialmente factible.

En el presente documento, se divulga un método para la fabricación de lámina de espuma multicapa usando materia prima de poliéster de baja V.I., por ejemplo, una V.I. similar o menor que la del PET de grado de botella, por ejemplo, una materia prima de poliéster procedente de fuentes recicladas, en el que dicha materia prima puede no sufrir ningún paso de preprocesamiento para aumentar la V.I. a través de la manipulación de la estructura molecular, por ejemplo, policondensación en estado sólido o extrusión por fusión reactiva. Dicho método comprende el procesamiento de dicha materia prima a una temperatura significativamente más baja que la temperatura de procesamiento convencional del poliéster, en algunos casos, más baja que la temperatura de fusión del PET, por lo que se puede mantener una resistencia a la fusión lo suficientemente alta para la formación de una estructura celular. En alguna realización, la temperatura de procesamiento puede estar en el rango de 15% por debajo y 15% por encima de la temperatura de fusión. En alguna realización, la temperatura de procesamiento puede estar en el rango de 10% por debajo y 10% por encima de la temperatura de fusión. En alguna realización, la temperatura de procesamiento puede estar en el rango de 5% por debajo y 5% por encima de la temperatura de fusión. En alguna realización, la temperatura de procesamiento es la temperatura máxima de fusión. Además, en algunas realizaciones, dicho método comprende la acumulación de presión dentro del equipo de procesamiento, por ejemplo, dentro de la extrusora de un solo tornillo. Dicho método de procesamiento descrito comprende la inclusión de una cantidad apropiada de agente de expansión físico supercrítico, por ejemplo, nitrógeno o dióxido de carbono o una mezcla de los dos, en el sistema.

La presente divulgación se refiere a un método para la fabricación de lámina de espuma de PET multicapa que comprende materia prima de poliéster de baja V.I. En algunas realizaciones, la materia

prima comprende más del 50 % de escamas recicladas producidas a partir de fuentes de PET reciclado, residuos posindustriales, triturados de procesos y triturados posconsumo, por ejemplo, escamas de botellas de PET posconsumo. En algunas realizaciones, la materia prima comprende más del 75 % de escamas recicladas producidas a partir de fuentes de PET reciclado. En algunas realizaciones, la materia prima comprende más del 90 % (por ejemplo, hasta el 100 %) de escamas recicladas producidas a partir de fuentes de PET reciclado. En algunas realizaciones, la materia prima de poliéster puede tener una V.I. mayor que aproximadamente 0,55 dl/g. En algunas realizaciones, la materia prima de poliéster puede tener una V.I. mayor que aproximadamente 0,65 dl/g. En algunas realizaciones, la materia prima de poliéster puede tener una V.I. mayor que aproximadamente 0,75 dl/g. En algunas realizaciones preferidas, la materia prima de poliéster puede tener una V.I. de aproximadamente 0,6 a 0,8 dl/g.

En algunas realizaciones, el método para producir una lámina de espuma de PET multicapa comprende cristalizar dicha materia prima de baja viscosidad intrínseca en un cristalizador. La cristalización puede evitar la aglomeración cuando dicha materia prima se somete al proceso de secado en el que el contenido de humedad de dicha materia prima puede reducirse significativamente, por ejemplo, a menos de 50 ppm, por ejemplo, después de 4-6 horas en la tolva de secado a 325-350° F.

En algunas realizaciones, el método para producir una lámina de espuma de PET multicapa comprende peletizar dicha materia prima de baja viscosidad intrínseca.

La formulación de partida que se puede usar en dicho método para producir lámina de espuma de PET multicapa comprende hasta el 100 % de dicha materia prima, por ejemplo, escamas de PET reciclado cristalizado y seco, que se pueden alimentar directamente a la máquina de procesamiento, por ejemplo, la tolva de una extrusora.

En algunas realizaciones, el método para producir lámina de espuma de PET multicapa comprende la coextrusión de múltiples capas sólidas y de espuma producidas a partir de dicha materia prima a través de un sistema de coextrusión multicapa y una matriz, por ejemplo, una matriz de lámina plana. Dicho sistema de procesamiento de coextrusión para producir lámina de espuma de PET multicapa a partir de dicha materia prima comprende múltiples extrusoras de un solo tornillo conectadas a una matriz de lámina multicapa, en algunos casos, matrices de lámina de múltiples manifolds, en algunos casos, matrices de láminas con bloque de coextrusión/bloque de combinación. En algunas realizaciones preferidas, cada extrusora en dicho sistema de procesamiento de coextrusión podría incluir un cambiador de mallas. En algunas realizaciones, se puede incluir una bomba de engranajes.

En algunas realizaciones, las mencionadas extrusoras de un solo tornillo comprenden un mezclador de transferencia de cavidad, por ejemplo, el MuCell Transfer Mixer (MTM) de MuCell Extrusion LLC, como una extensión del barril de la extrusora, donde la temperatura del mencionado mezclador de transferencia de cavidad podría ser controlada con precisión dentro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

En algunas realizaciones, el mencionado sistema de procesamiento de coextrusión comprende una extrusora de un solo tornillo con un mezclador de transferencia de cavidad, por ejemplo, el MuCell Transfer Mixer (MTM) de MuCell Extrusion LLC, como una extensión del barril de la extrusora, en donde el mencionado mezclador de transferencia de cavidad incluye un inyector, por ejemplo, para introducir agentes de expansión físicos como nitrógeno o dióxido de carbono, en donde la temperatura del mencionado mezclador de transferencia de cavidad podría ser controlada con precisión dentro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

En algunas realizaciones, el mencionado sistema de procesamiento de coextrusión consta de una matriz de lámina descrita y dos extrusoras de un solo tornillo, en donde al menos una de las extrusoras incluye un mezclador de transferencia de cavidad, por ejemplo, el MuCell Transfer Mixer (MTM) de MuCell Extrusion LLC, como una extensión del barril de la extrusora, en donde el mencionado mezclador de transferencia de cavidad incluye un inyector, por ejemplo, para introducir agentes de expansión físicos como nitrógeno, dióxido de carbono o una mezcla de los dos, en donde la temperatura de los mencionados mezcladores de transferencia de cavidad podría ser controlada con precisión dentro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

En algunas realizaciones, el mencionado sistema de procesamiento de coextrusión consta de una matriz de lámina descrita y tres extrusoras de tornillo simple, en donde al menos una de las extrusoras incluye un mezclador de transferencia de cavidad, por ejemplo, el MuCell Transfer Mixer (MTM) de MuCell Extrusion LLC, como una extensión del barril de la extrusora, en donde el mencionado mezclador de transferencia de cavidad incluye un inyector, por ejemplo, para introducir agentes de expansión físicos como nitrógeno, dióxido de carbono o una mezcla de los dos, en donde la temperatura de los mencionados mezcladores de transferencia de cavidad podría ser controlada con precisión dentro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Debe entenderse que pueden ser posibles otras configuraciones de extrusoras en dicho sistema de procesamiento de coextrusión.

En algunos casos, se puede producir una lámina plana de espuma de PET de tres capas que comprende una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) y dos capas sólidas (por

ejemplo, que comprenden PET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa de espuma, y la lámina tiene un espesor de más de 5 milésimas de pulgada.

En algunos casos, se puede producir una lámina plana de espuma de PET de cuatro capas que comprende una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) y dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden rPET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, y una capa sólida (por ejemplo, que comprende PET) en un lado de la capa central.

En algunos casos, se puede producir una lámina plana de espuma de PET de cinco capas que comprende una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) y al menos dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden PET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, y al menos una capa sólida (por ejemplo, que comprende rPET), cada una entre la capa de espuma y la capa de revestimiento sólido. En algunos casos, se puede producir una lámina plana de espuma de PET de cinco capas que comprende una capa central sólida (por ejemplo, que comprende rPET) y al menos dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden PET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, y al menos dos capas de espuma (por ejemplo, que comprenden rPET), cada una entre la capa central y la capa de revestimiento sólido, y la lámina tiene un espesor mayor que 5 milésimas de pulgada.

Debe entenderse que pueden ser posibles otras configuraciones de capas.

En algunas realizaciones, la V.I. de la resina que se usa en una o más de las capas sólidas es al menos 0,1 dL/g más que la V.I. de la resina que se usa en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina que se usa en una o más de las capas sólidas es al menos 0,15 dL/g más que la V.I. de la resina que se usa en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina que se usa en una o más de las capas sólidas es al menos 0,2 dL/g más que la V.I. de la resina que se usa en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina que se usa en una o más de las capas sólidas es al menos 0,25 dL/g más que la V.I. de la resina que se usa en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina que se usa en una o más de las capas sólidas es al menos 0,3 dL/g más que la V.I. de la resina que se usa en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina que se usa en una o más de las capas sólidas es al menos 0,35 dL/g más que la V.I. de la resina que se usa en las capas de espuma.

En algunas realizaciones, al menos una de las capas sólidas más externas comprende una resina de PET virgen, en la que la V.I. de dicha resina es al menos 0,1 dL/g más que la V.I. de la resina rPET que se usa en las capas de espuma; en algunos casos, 0,15 dL/g más; en algunos casos, 0,2 dL/g más; en

algunos casos, 0,25 dL/g más; en algunos casos, 0,3 dL/g más; en algunos casos, 0,35 dL/g más; en algunos casos, 0,4 dL/g más; en algunos casos, 0,45 dL/g más; y en algunos casos, 0,5 dL/g más que la V.I. de la resina rPET que se usa en las capas de espuma.

En algunas realizaciones preferidas, el método para producir la lámina de espuma de PET multicapa comprende mantener la temperatura de dicho mezclador de transferencia en el que se puede inyectar un gas supercrítico, por ejemplo, MuCell Transfer Mixer (MTM) de MuCell extrusion LLC, a una temperatura mucho más baja que la temperatura de procesamiento convencional del PET, por ejemplo, en algunos casos, por debajo de la temperatura de fusión y por encima de la temperatura de cristalización del PET, y en algunos casos, en el rango de 15% por debajo y 15% por encima de la temperatura de fusión. En algunas realizaciones, en el método de producción de la lámina de espuma multicapa, la presión dentro del mezclador de transferencia de cavidad, por ejemplo, MuCell Transfer Mixer (MTM) de MuCell extrusion LLC, aumenta, por ejemplo, más de 200 bar, en algunos casos, más de 240 bar, en algunos casos, más de 300 bar, por lo que la alta presión combinada con la temperatura de procesamiento más baja contribuye en mantener la cantidad adecuada de resistencia a la fusión para la formación de espuma.

En general, una pequeña concentración de subproductos, por ejemplo, acetaldehído (AA), resultante de la degradación del PET puede afectar el sabor de los alimentos en las aplicaciones de envasado de alimentos cuando el alimento está en contacto directo con el envase, y las escamas de botella de PET recicladas podrían tener una mayor cantidad de AA aceptable en comparación con el PET virgen. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el método para producir una lámina de espuma de PET multicapa comprende la coextrusión de una capa de revestimiento sólido a partir de una materia prima de PET virgen de calidad alimentaria, por ejemplo, una resina de PET aprobada por la FDA, en la que dicho revestimiento sólido tiene un espesor de más de 2 micras. En alguna realización, el método para producir lámina de espuma de PET multicapa comprende el uso de hasta 100 % de escamas de PET reciclado producidas a partir de fuentes de PET reciclado en al menos una de las capas intermedias, excluyendo ambas capas de revestimiento sólido. En alguna realización, el método para producir lámina de espuma de PET multicapa comprende el uso de hasta un 100 % de escamas de PET reciclado producidas a partir de fuentes de PET reciclado en al menos una de las capas de espuma.

En alguna realización, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita puede usar una cantidad apropiada de gas supercrítico, por ejemplo, por debajo del 1 por ciento en peso, como auxiliar de procesamiento y agente de expansión. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,9 por ciento en peso del

agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,8 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,7 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,6 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,5 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,4 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,3 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,2 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, el proceso para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita comprende usar menos del 0,1 por ciento en peso del agente de expansión supercrítico. En algunas realizaciones, en función del tipo de agente de expansión, pueden ser posibles otras concentraciones de gas, por ejemplo, más del 0,5 por ciento en peso. Tal gas supercrítico puede inyectarse en el polímero fundido a alta presión, por ejemplo mayor que 34 bar, dentro de dicho mezclador de transferencia de cavidad. El gas supercrítico usado en el proceso puede ser nitrógeno, dióxido de carbono o una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono. En algunas realizaciones, el agente de expansión supercrítico puede introducirse dentro de la sección de mezclado de la extrusora, o dentro de dicha mezcladora de transferencia de cavidad, a la presión de inyección mayor o igual a 34 bar; en algunos casos, mayor o igual a 70 bar; en algunos casos, mayor o igual a 240 bar, y, en algunos casos, mayor o igual a 380 bar. La temperatura del mezclador se puede controlar con precisión dentro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. La inclusión de una pequeña cantidad de dicho gas supercrítico puede ofrecer algunas ventajas esenciales en el procesamiento y, por ejemplo, en los procesos de extrusión de láminas de espuma. Por ejemplo, el gas puede reducir la contrapresión, lo que permite el procesamiento a una mayor capacidad y puede retrasar algunas inestabilidades en el procesamiento de la espuma, por ejemplo, se puede reducir la fractura por fusión o la ondulación. Además, dicho gas supercrítico puede mejorar la capacidad de procesamiento del PET a una temperatura mucho más baja en comparación con la temperatura de procesamiento convencional del PET, por ejemplo, en algunos casos, a una temperatura más baja que la temperatura de fusión del PET y más alta que la temperatura de cristalización del PET, y en algunos casos, a una temperatura en el rango de 15%

por debajo y 15% por encima de la temperatura de fusión, ya que dicho agente físico de expansión puede plastificar el PET fundido y manipular las propiedades reológicas.

En algunas realizaciones, la adición del agente de expansión físico puede reducir el desarrollo de la fractura por fusión debido a la manipulación de la viscosidad de la masa fundida, lo que puede dar como resultado una alta lisura superficial, por ejemplo, lisura Sheffield promedio, de acuerdo con TAPPI T 538, menor que 100. Por lo tanto, la calidad de impresión en la lámina puede mejorar significativamente.

En algunas realizaciones, dicho agente de expansión físico comprende nitrógeno, dióxido de carbono o una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono. Debe entenderse que puede ser posible el uso de otros tipos de agentes de expansión físicos.

En algunas realizaciones, el proceso de producción de la lámina de espuma de PET multicapa comprende el uso de una matriz de extrusión para formar la lámina de espuma de PET multicapa. En algunas realizaciones, la matriz puede ser una matriz de lámina de múltiples manifolds en el que la geometría y la especificación de la matriz se pueden fabricar de acuerdo, por ejemplo, con la solicitud de patente U.S. 2012/0228793 A1, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad. En algunas realizaciones, la matriz puede ser una matriz de lámina plana con un bloque de coextrusión en el que la geometría y la especificación de la matriz se pueden fabricar de acuerdo, por ejemplo, con la solicitud de patente U.S. 2012/0228793 A1, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad. En algunas realizaciones, la lámina de espuma de PET multicapa puede producirse como una lámina plana con un espesor mayor que 5 milésimas de pulgada. En algunas realizaciones, la lámina de espuma de PET multicapa puede producirse como una lámina plana con un espesor mayor que 8 milésimas de pulgada. En algunas realizaciones, la lámina de espuma de PET multicapa puede producirse como una lámina plana con un espesor mayor que 10 milésimas de pulgada.

En algunas realizaciones, el método para producir láminas de espuma de PET multicapa comprende la inclusión de algunas cantidades apropiadas de otros aditivos en al menos una de las extrusoras en dicho sistema de coextrusión, como pigmentos, agentes deslizantes, agentes antiestáticos, estabilizadores de U.V., modificadores de impacto, antioxidantes y agentes nucleantes.

En alguna realización, el método para producir la lámina de espuma de PET multicapa descrita en este documento comprende la inclusión de una cantidad apropiada de un aditivo inorgánico, un aditivo orgánico o una mezcla de un aditivo inorgánico y un orgánico como agente de nucleación con una concentración de 0,05 a 15 por ciento en peso, en algunos casos, una concentración de 0,1 a 12,5 por

ciento en peso, en algunos casos, una concentración de 0,25 a 12,5 por ciento en peso, en algunos casos, una concentración de 0,5 a 10 por ciento en peso, en algunos casos, una concentración de 1 a 10 por ciento en peso, en algunos casos, una concentración de 1 a 7,5 por ciento en peso, en algunos casos, una concentración de 2,5 a 7,5 por ciento en peso, opcionalmente en al menos una de las extrusoras en dicho sistema de coextrusión, por ejemplo, hasta aproximadamente un 15% en peso de talco como agente nucleante. En algunos casos, hasta aproximadamente el 35% en peso de dichos aditivos, por ejemplo, carbonatos de calcio, pueden incluirse en al menos una de dichas extrusoras.

En algunas realizaciones, el método para producir la lámina de espuma de PET multicapa comprende la mejora de la blancura percibida de la superficie de la lámina, que se puede realizar mediante el método explicado de acuerdo con la solicitud de patente US17/064,976, que se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

En algunas realizaciones, la rigidez a la flexión y la configuración de las capas del producto de lamina de espuma multicapa divulgado podrían optimizarse mediante el método y los productos explicados de acuerdo con la solicitud de patente US20200361184A1 que se incorpora aquí como referencia en su totalidad y, en algunos casos, de acuerdo con la solicitud de patente US20200361185A1 que se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

En el presente documento, se divulga una lámina de espuma multicapa reciclable ligera que, en algunas realizaciones, comprende no menos de tres capas, por ejemplo, cuatro capas, para ser ampliamente usada en la industria del envasado, por ejemplo, un reemplazo para los cartones de papel que se usan en la industria del envasado y, en algunos casos, para la aplicación de envasado en contacto directo y no directo con alimentos. La lámina comprende escamas recicladas producidas a partir de fuentes de PET reciclado, residuos postindustriales, triturados de procesos y triturados posconsumo, por ejemplo, escamas de botellas de PET posconsumo, en las que al menos una capa, excluyendo las capas de revestimiento sólido, tiene una estructura celular. En algunas realizaciones, al menos el 10 % de las celdas son celdas cerradas; en algunas realizaciones, más del 50 % de las celdas son celdas cerradas; y, en algunas realizaciones, más del 75 % de las celdas son celdas cerradas. Como se usa en el presente documento, una "celda cerrada" se refiere a una celda que tiene paredes de celda que rodean completamente la celda sin aberturas, de modo que no hay interconectividad con una celda adyacente. El porcentaje de celdas cerradas puede medirse de acuerdo con ASTM D6226-15.

En algunas realizaciones, la concentración en masa del PET virgen por unidad de área de la lámina multicapa es menor al 15 por ciento de la masa por unidad de área de la lámina. En algunas realizaciones, la concentración de masa del PET virgen por unidad de área de la lámina multicapa es menor al 10 por ciento de la masa por unidad de área de la lámina. En algunas realizaciones, la concentración en masa del PET virgen por unidad de área de la lámina multicapa es menor al 5 por ciento de la masa por unidad de área de la lámina.

En algunas realizaciones, los productos laminares de espuma multicapa descritos en este documento pueden exhibir propiedades de barrera contra la humedad significativamente más altas en comparación con sus contrapartes sólidas con el mismo valor de masa por unidad de área (en gramos por metro cuadrado). Además, en algunas realizaciones, los productos laminares de espuma multicapa descritos en este documento pueden exhibir propiedades de barrera contra el oxígeno significativamente más altas en comparación con sus contrapartes sólidas con el mismo valor de masa por unidad de área (en gramos por metro cuadrado). Dichas propiedades de barrera contra la humedad y el oxígeno más altas se pueden lograr debido a un grado más alto de cristalinidad debido a la cinética de cristalización más rápida de dicha materia prima de PET con una V.I. baja. en comparación con la cinética de cristalización de los grados de PET virgen con una V.I. más alta de aproximadamente 0,9 y más.

En algunas realizaciones, la lámina de espuma multicapa comprende cinco capas; en algunas realizaciones, cuatro capas; y, en algunas realizaciones, tres capas. Por ejemplo, una lámina de cinco capas puede comprender una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) y al menos dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden PET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, y al menos una capa sólida (por ejemplo, que comprende rPET), cada una entre la capa de espuma y la capa de revestimiento sólido. En una realización, la lámina de cinco capas puede comprender una capa central sólida (por ejemplo, que comprende rPET) y al menos dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden PET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, y al menos dos capas de espuma (por ejemplo, que comprenden rPET), cada una entre la capa central y la capa de revestimiento sólido.

En algunos casos, una lámina de cuatro capas puede comprender una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) y dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden rPET), cada una en lados opuestos respectivos de la capa central, y una capa sólida (por ejemplo, que comprende PET) en un lado de la capa central.

En algunos casos, una lámina de espuma de tres capas comprende una capa central de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) en el medio con dos capas de revestimiento sólido (por ejemplo, que comprenden PET), cada una en el lado opuesto respectivo de la capa central.

En otra realización, la lámina de espuma multicapa comprende al menos una capa de espuma (por ejemplo, que comprende rPET) y al menos dos capas sólidas (por ejemplo, que comprenden PET), y al menos una capa sólida (por ejemplo, que comprende EVOH). En algunas otras realizaciones, la lámina de espuma multicapa descrita en este documento comprende al menos una capa sólida que comprende EVOH.

Debe entenderse que pueden ser posibles otras configuraciones de capas.

En algunas realizaciones, la V.I. de la resina en una o más de las capas sólidas es al menos 0,1 dL/g más que la V.I. de la resina en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina en una o más de las capas sólidas es al menos 0,15 dL/g más que la V.I. de la resina en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina en una o más de las capas sólidas es al menos 0,2 dL/g más que la V.I. de la resina en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina en una o más de las capas sólidas es al menos 0,25 dL/g más que la V.I. de la resina en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina en una o más de las capas sólidas es al menos 0,3 dL/g más que la V.I. de la resina en las capas de espuma. En algunas realizaciones, la V.I. de la resina en una o más de las capas sólidas es al menos 0,35 dL/g más que la V.I. de la resina en las capas de espuma.

En algunas realizaciones, al menos una de las capas sólidas más externas comprende una resina de PET virgen, en la que la V.I. de dicha resina es al menos 0,1 dL/g más que la V.I. de la resina rPET que se usa en las capas de espuma; en algunos casos, 0,15 dL/g más; en algunos casos, 0,2 dL/g más; en algunos casos, 0,25 dL/g más; en algunos casos, 0,3 dL/g más; en algunos casos, 0,35 dL/g más; en algunos casos, 0,4 dL/g más; en algunos casos, 0,45 dL/g más; y en algunos casos, 0,5 dL/g más que la V.I. de la resina rPET que se usa en las capas de espuma.

En algunas realizaciones, la composición polimérica de cada capa comprende algunas cantidades apropiadas de otros aditivos, tales como, entre otros, pigmentos, agentes deslizantes, agentes antiestáticos, estabilizadores de U.V., antioxidantes, modificadores de impacto o agentes nucleantes. La capa de espuma puede contener opcionalmente de 0,05 a 15 por ciento en peso de un aditivo inorgánico, un aditivo orgánico o una mezcla de un aditivo inorgánico y un orgánico como agente de nucleación. Por ejemplo, la capa de espuma puede contener hasta un 15% en peso de talco como agente nucleante. En

algunos casos, al menos una capa de la lámina puede contener hasta aproximadamente un 35% en peso de carbonatos de calcio; en algunos casos, hasta aproximadamente el 30 % en peso, en algunos casos, hasta aproximadamente el 25 % en peso; en algunos casos, hasta aproximadamente el 20% en peso; en algunos casos, hasta aproximadamente el 15% en peso; en algunos casos, hasta aproximadamente el 10% en peso; y en algunos casos, hasta alrededor del 5% en peso.

En algunos casos, una lámina de espuma multicapa comprende dos capas de revestimiento sólido en las que al menos una de las capas de revestimiento sólido comprende una cantidad adecuada de pigmentos de color, por ejemplo, menos del 1 por ciento en peso.

La lámina de espuma multicapa descrita, que comprende al menos una capa de espuma, puede tener conjuntos de propiedades fisicomecánicas significativamente mejoradas en comparación con artículos de lámina de espuma similares conocidos como, en particular, el valor de rigidez a la flexión mayor que 20, en algunos casos mayor que 25, y en algunos casos, mayor que 50, todos en unidades de rigidez Taber, de acuerdo con TAPPI/ANSI T 489 om-15. En algunas realizaciones, la relación de la masa por unidad de área (la masa de una unidad de área de la lámina en gramos por metro cuadrado (gr/m²)) sobre el valor de rigidez a la flexión en unidades de rigidez Taber es igual o menor que 25; en algunos casos, menor que 20 y, en algunos casos, menor que 15. En una realización, la lámina puede tener un valor de rigidez a la flexión en unidades de rigidez Taber menor que 280, de acuerdo con TAPPI/ANSI T 489 om-15.

La lámina de espuma multicapa descrita puede tener una superficie con una lisura Sheffield media, de acuerdo con TAPPI T 538, menor que 100. En algunas realizaciones, la lámina puede tener una lisura Sheffield media menor que 50; en algunos casos, menor que 40; en algunos casos, menor que 30; y, en algunos casos, menor que 15.

En algunas realizaciones, la capa de espuma de la lámina divulgada tiene una morfología celular mucho mejor en comparación con las láminas similares conocidas. Por ejemplo, las capas de espuma de las láminas divulgadas pueden tener celdas uniformemente distribuidas, por ejemplo, con una morfología de celda cerrada, con un tamaño de celda promedio de aproximadamente 10 a 250 μm . En algunas realizaciones, el tamaño medio de las celdas en la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que 200 μm . En algunas realizaciones, el tamaño medio de las celdas en la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que 100 μm .

En algunas realizaciones, la densidad celular media con respecto al volumen de polímero sin espumar en la capa de espuma de la lámina de espuma PET multicapa es de aproximadamente $10^2 - 10^9$ células/cm³. En algunas realizaciones, la densidad celular media con respecto al volumen de polímero sin espumar en la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que aproximadamente 10^8 células/cm³. En algunas realizaciones, la densidad celular promedio con respecto al volumen de polímero sin espumar en la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que aproximadamente 10^7 células/cm³.

En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma PET multicapa es menor que 9. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma PET multicapa es menor que 8. En algunas realizaciones, la la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que 7. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que 6. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que 5. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma de PET multicapa es menor que 4. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma del lámina de espuma PET multicapa es menor que 3. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma PET multicapa es menor que 2. En algunas realizaciones, la relación de expansión de la capa de espuma de la lámina de espuma PET multicapa es menor que 1.1.

En algunos casos, la capa de espuma comprende al menos un 10% de células cerradas y, en algunos casos, más del 50% de celdas cerradas. En una realización, la capa de espuma tiene sustancialmente una morfología de celdas cerradas en su totalidad (por ejemplo, más del 95% de celdas cerradas). El porcentaje de celdas cerradas puede medirse de acuerdo con ASTM D6226-15.

La presente divulgación se refiere a una lámina de espuma de PET multicapa ligera adecuada para ser usada en todo tipo de envases asépticos y no asépticos; envasado de todo tipo de productos sensibles al oxígeno, envasado de productos pasteurizados; envasado de productos alimenticios secos tales como bizcochos, galletas, cereales, té, café, azúcar, harina, mezclas de alimentos secos, chocolates, golosinas de azúcar, comida para mascotas; envasado de alimentos congelados como alimentos refrigerados y helados; envasado de productos y alimentos cocinados y precocinados; envasado de productos frescos como verduras, frutas, carnes y pescados; envasado de alimentos para bebés; envasado de todo tipo de postres; envasado de alimentos y bebidas vertibles tales como caldos, sopas, jugos, leche y todo tipo de

productos derivados de la leche, concentrados, todo tipo de aderezos, huevos líquidos, productos de tomate; y envasado de todo tipo de productos fluidos no comestibles, como detergentes para ropa, champús y jabones corporales; y envasado de alimentos para mascotas.