

**PROCESO DE BAJA TEMPERATURA PARA INTEGRAR UNA ESPUMA
POLIMÉRICA CON UN CUERPO POLIMÉRICO**

CAMPO TÉCNICO

5 La presente invención se refiere a tecnología de materiales
poliméricos y la fabricación de artículos poliméricos, en donde
la integración de la espuma es deseable con el fin de reducir
el peso y mejorar las propiedades mecánicas, de aislamiento
térmico y aislamiento acústico, entre otras, sin comprometer
10 la funcionalidad del producto, con requisitos de inversión
bajos y permitiendo la reutilización y/o reciclado del
producto.

ANTECEDENTES

15 En la actualidad, algunas estructuras son fabricadas
industrialmente sin formación de espuma, por ejemplo, cajas de
bebidas embotelladas, que luego tienen espuma integrada en las
cavidades existentes con el fin de reducir el peso de la
estructura, en comparación con una estructura sólida, y mejorar
20 su resistencia al impacto, sin dañar la funcionalidad, la
capacidad de apilamiento y la estabilidad mecánica.

Para dicho proceso de estructuras de llenado con espuma, se
siguen los pasos definidos en W02010008264. Este documento se

refiere a un procedimiento para la producción de piezas de plástico moldeadas con paredes más gruesas y reforzadas, donde el proceso combina técnicas de moldeo de plástico convencional y comprende los pasos de: diseñar un artículo de plástico con al menos una cavidad o área hueca para ser llenada con un material termoplástico de refuerzo, y la cual debe tener al menos una compuerta de inyección; pre-moldear el artículo de plástico mediante un proceso de moldeo convencional; inyectar un material termoplástico con un agente espumante a través de la compuerta de inyección usando una máquina de inyección a baja presión; retirar el producto o artículo de plástico de la máquina de inyección a baja presión; y, enfriar el producto fabricado en el área de almacenamiento.

Siguiendo los pasos indicados en el documento W02010008264, se utiliza polietileno de alta densidad (HDPE), con un índice de fluidez (MFI) de 8 gramos por 10 minutos a una temperatura de 190 °C con un peso de 2.16 kg que se moldea por inyección. Después de la fabricación de la estructura no espumada, un material de polímero espumado, polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), con un MFI de aproximadamente 65 g/10 min (190/2.16), se inyecta en la estructura. La temperatura de procesamiento de moldeo por inyección del material espumado es aproximadamente 150 °C. La espuma se genera con un agente de

formación de espuma química endotérmica, disponible comercialmente como Microcell® 303 de Momentum International GmbH.

5 El procedimiento definido en el documento W02010008264, presenta el problema que la inyección del material espumado se debe realizar a una temperatura elevada (más de 130 °C para el LLDPE), lo cual libera las tensiones residuales en la estructura de no espumada (temperatura de ablandamiento VICAT
10 132 °C), deformando dicha estructura, que es un efecto indeseable debido a que compromete la capacidad de apilamiento, la estabilidad mecánica, y la funcionalidad de dicha estructura. Este problema se trata actualmente mediante la modificación de la geometría del molde de inyección para
15 compensar las deformaciones. Sin embargo, esta solución es inadecuada, ya que implica el proceso de ensayo y error de compensar las deformaciones de la estructura final para la forma de la cavidad del molde, aumentando el costo y el tiempo de desarrollo.

20

En la actualidad, existen muchos procesos y métodos conocidos en el estado de la técnica para la formación de espuma de un polímero y su posterior aplicación dentro de otro material polimérico.

Una de tales soluciones en el estado de la técnica es llenar las cavidades de la estructura con los componentes químicos con el fin de obtener espuma termoestable que reacciona a una temperatura suficientemente baja, tal que no se producen deformaciones en la estructura. El documento de US. 3,389,824A describe un ejemplo del uso de esta solución para la construcción de un refrigerador que utiliza el poliuretano como el material espumado. Este método se utiliza comúnmente en las técnicas de fabricación actual, pero crea enormes dificultades con el reciclaje de la estructura polimérica debido a que la espuma termoestable no puede fundirse. Otros ejemplos se presentan en los documentos US 6.093.358 y US 6.295.787 en los que el material expandible termoestable se utiliza para llenar las cavidades de la pieza de plástico.

Otra solución disponible en el estado de la técnica es la integración de los materiales espumados con la estructura no espumada en el mismo molde en donde la estructura se fabrica, siendo dicho procedimiento conocido en la técnica como sobremoldeado de espuma. Un ejemplo de esta solución se da a conocer en el documento EP 2318282 A1, en el que la preforma rígida se sobremoldea con espuma polimérica para obtener posteriormente, a través del proceso de moldeo por soplado, un

envase con una capa de espuma. La mezcla presurizada del polímero fundido a espumar con un gas en el estado supercrítico es una técnica utilizada comúnmente para obtener espumas termoplásticas que se pueden utilizar para fabricar estructuras de un solo componente o de componentes múltiples sobremoldeados. Dicha mezcla genera la espuma cuando se somete a una condición de baja presión. Un ejemplo de esta tecnología de formación de espuma se presenta en el documento de US. 20100198133. La principal desventaja del uso de estas tecnologías de sobremoldeado y formación de espuma es el alto costo de inversión en equipos de procesamiento y en tecnología de moldes.

Otra solución disponible en el estado de la técnica es el llenado de cavidades de piezas con perlas poliméricas expansibles. Un ejemplo de esta solución se describe en el documento US 20140110491, donde una cavidad de artículo estructural de plástico se llena con perlas de polímero termoplástico expandible por vapor, que cuando se expanden, llenan la cavidad. Los materiales de las perlas y el artículo estructural son de un polímero similar, permitiendo el reciclado. Sin embargo, la adhesión entre los materiales puede verse comprometida, limitando la invención a geometrías de cavidades cerradas. Una solución similar se presenta en el

documento EP 0647513. Otro ejemplo se presenta en el documento US 5665285, donde un artículo de espuma moldeada se integra con una piel polimérica usando el método de moldeo por soplado y perlas expansibles para formación de espuma. Esta solución
5 requiere que las perlas expansibles se introduzcan en la cavidad hueca antes del enfriamiento.

Una de las etapas de la invención descrita en el presente documento es exponer el polímero que será espumado en su estado
10 sólido a un gas de alta presión. Esta técnica ha sido parte de varias divulgaciones, pero no están destinadas a la integración a baja temperatura de espuma polimérica con cuerpos poliméricos para obtener una estructura final con propiedades mejoradas, sin deformar el cuerpo polimérico, para garantizar la
15 funcionalidad y otras propiedades de la estructura final.

Una de dichas revelaciones es el documento US7107601 que divulga un método para fabricar un dispositivo anti-vibración que comprende las etapas de: saturar un material de resina con
20 un gas inerte a través del ajuste de la presión y la cantidad de gas inerte; moldear un producto en el que el número, la forma y la forma de las células de gas se ajustan controlando la presión de inyección, la velocidad de inyección, el tamaño

del tiro, la presión de mantenimiento, el gradiente de enfriamiento y el tiempo de enfriamiento.

Otro documento relacionado con esta tecnología es la patente
5 US N° 7.182.897 que enseña un método para almacenar un material después de haber sido saturado, en el que el material es saturado a una presión no inferior a 4 MPa y a una temperatura definida. Dependiendo del tipo de material, se definen el tiempo, la presión, las temperaturas de saturación y las
10 condiciones de almacenamiento.

El documento EP0765724 describe un método para extruir espumas plásticas mientras se reduce la viscosidad por medio de un gas. En este proceso, el material en forma de gránulos o polvo se
15 alimenta a un aparato de absorción de gas, donde se carga con gas bajo una presión y temperatura definidas y después pasa a través de un proceso de extrusión.

El estado de la técnica es un montón de documentos que describen
20 el contacto de gránulos de polímero con un gas con el fin de producir espumas de gránulos. Por ejemplo, Li et al utilizan un recipiente de alta presión para impregnar el polímero iPP con N₂ y CO₂. El recipiente se calienta para espumar el material. Chen et al. utilizan una cámara de formación de

espuma para preparar muestras de espuma EVA usando CO₂ como agente de soplado. Cuando se calienta el material en el recipiente y se libera la presión, se produce el proceso de formación de espuma.

5

El estado de la técnica reporta varios estudios de morfología de espuma y propiedades mecánicas usando moldeo por inyección para producir la prueba de muestreado con espuma, en el que los gránulos de polímero se impregnaron previamente con un
10 agente físico. Un ejemplo es presentado por Florez, donde los gránulos de policarbonato se ponen en contacto con CO₂ a altas presiones durante más de 20 horas, luego se inyecta el material para obtener las muestras.

15 Finalmente, la solicitud PCT W02006100517 describe un procedimiento para introducir un gas en un polímero que comprende las etapas de exponer un primer polímero a un gas a una temperatura mayor que la temperatura ambiente, donde esta etapa se lleva a cabo a una temperatura desde la temperatura
20 de transición vítrea a la temperatura de fusión cristalina para un material semicristalino o por debajo de la temperatura de transición vítrea para un material amorfo. El polímero se funde para producir un artículo espumado.

De acuerdo con la información anterior, para los expertos en la técnica es evidente que los documentos existentes no ofrecen una solución adecuada al problema planteado en la presente invención, ya que en la mayoría de los casos, el proceso para
5 integrar la espuma se lleva a cabo a una temperatura superior a la temperatura a la que se liberan tensiones residuales en el cuerpo polimérico no espumado, lo que a su vez hace que la estructura final se deforme y se vea comprometida. En otros casos, la reciclabilidad se ve afectada negativamente o se
10 requieren grandes inversiones en equipos y tecnología de moldes.

Por lo tanto, existe una necesidad en el estado de la técnica para diseñar un procedimiento o método para integrar una espuma
15 polimérica con una estructura polimérica no espumada a bajas temperaturas para obtener una estructura final, es decir, a temperaturas inferiores a la temperatura en la que se liberan tensiones residuales en la estructura polimérica no espumada, con el objetivo de mantener las propiedades físicas de dicha
20 estructura y ser adecuada para múltiples aplicaciones. Además, un proceso que no requiere grandes inversiones en equipos y tecnología de moldes y no afecta la reciclabilidad de la estructura final es necesario para futuras aplicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se define con más precisión mediante los dibujos adjuntos, que no limitan el alcance de la invención
5 definida en las reivindicaciones, en donde:

Figura 1: Muestra el % de contenido de CO₂ por peso en EVA en función del tiempo de exposición a la presión atmosférica antes de la inyección para diferentes tiempos de impregnación del
10 gas del ejemplo 1

Figura 2: Muestra la densidad de espuma de EVA inyectada y el % de contenido de CO₂ por peso justo antes del proceso de inyección frente al tiempo de exposición a la presión atmosférica, antes de la inyección del ejemplo 1

15 Figura 3: Muestra la temperatura externa de la superficie del cuerpo polimérico frente al tiempo después de la integración de la espuma con un cuerpo polimérico del ejemplo 1

Figura 4: Muestra la resistencia a impactos con muescas y el módulo secante de HDPE puro, HDPE con 4.6% de EVA tipo 1 y HDPE
20 con 4.6% de EVA tipo 2 del ejemplo 1.

Figura 5: Muestra el % de contenido de CO₂ por peso en HDPE y PP en función del tiempo de exposición a la presión atmosférica antes de la inyección del ejemplo 2.

Figura 6: Muestra la densidad de espuma de HDPE y PP después de la inyección frente al tiempo de exposición a la presión atmosférica antes de la inyección del ejemplo 2

Figura 7: Muestra la comparación de fatiga de trabajo a compresión/relación de densidad de HDPE y PP después de la inyección para materiales no espumados y espumados del ejemplo 2

Figura 8: Muestra el % de contenido de CO₂ por peso en LDPE y PP en función del tiempo de exposición a la presión atmosférica antes de la extrusión del ejemplo 3.

Figura 9: Muestra la densidad de espumado de LDPE y PP en extrusión para cinco muestras del ejemplo 3

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está relacionada con un procedimiento a baja temperatura que comprende varias etapas para integrar espuma polimérica con cuerpos poliméricos para obtener un cuerpo final con propiedades mejoradas, realizándose dicho proceso a bajas temperaturas para evitar deformaciones en el cuerpo polimérico que comprometan la funcionalidad y otras propiedades de la estructura final. El procedimiento comprende las etapas de seleccionar los materiales poliméricos que garanticen la adhesión entre ellos, la procesabilidad, la reutilización y la reciclabilidad; impregnar el material a

espumar con un gas; generar la espuma; e integrar la espuma con los cuerpos poliméricos.

Otra característica del procedimiento de la presente invención se basa en la reducción de costos mediante el uso de elementos conocidos en el estado de la técnica y comúnmente utilizados en el procesamiento de polímeros y el hecho de que tanto el material polimérico a espumar como el material de cuerpo polimérico son compatibles con respecto a su capacidad de reciclado, de tal manera que, después que la estructura final se utiliza muchas veces, se puede reciclar para obtener otros cuerpos posteriores sin necesidad de usar material nuevo, ayudando así a reducir el impacto ambiental.

El proceso comprende las etapas de:

- Selección del material o materiales para los cuerpos poliméricos. Esta selección se hace sobre la base de los requisitos para la aplicación de la estructura final.
- Selección del material polimérico a espumar, teniendo en cuenta como criterio de selección que, la temperatura de fusión del cristal en el caso de un material que cristaliza o la temperatura de transición vítrea en el caso de un material que no cristaliza, es inferior a la

temperatura en la que se liberan tensiones residuales en el cuerpo polimérico,

- Proporcionar al menos un cuerpo polimérico con cualquier forma deseada.
- 5 • Proporcionar el material a espumar en estado sólido, es decir, a una temperatura en el intervalo desde la temperatura de transición vítrea hasta la temperatura de fusión cristalina para un material que cristaliza o por debajo de la temperatura de transición vítrea para un
10 material que no cristaliza.
- Poner en contacto el material polimérico a espumar con gas a una presión mayor que la presión atmosférica durante un tiempo suficiente tal que el material a espumar incorpore al menos 0.1% en peso de gas.
- 15 • Exponer el material polimérico a espumar a una presión inferior a la presión utilizada en la etapa anterior durante un tiempo suficiente de tal manera que la tasa de pérdida de gas no afecte a la estabilidad de las etapas siguientes. El tiempo no puede ser excesivo, de lo
20 contrario no habrá suficiente gas impregnado en el material polimérico, afectando la capacidad de formación de espuma en las siguientes etapas.
- Exponer el material polimérico a espumar a una presión mayor que la utilizada en la etapa anterior y una

temperatura mayor que la temperatura de fusión cristalina para un material que cristaliza o mayor que la temperatura de transición vítrea para un material que no cristaliza e inferior a la temperatura a la que se liberan tensiones residuales de al menos un cuerpo polimérico.

- Poner en contacto el material polimérico espumado con el al menos un cuerpo polimérico a una presión menor que la utilizada en la etapa anterior. Cuando se baja la presión, el gas impregnado se libera permitiendo la formación de espuma.

En una realización preferida de la presente invención, los materiales de la espuma polimérica y el al menos un cuerpo polimérico son compatibles con el objeto de permitir el reciclaje, ya que es necesario proteger el medio ambiente y evitar la necesidad de materiales nuevos o vírgenes cada vez que se crea una nueva estructura, además también es deseable usar materiales que puedan ser reutilizados varias veces mientras se conservan las propiedades del material. Adicionalmente, el material polimérico a espumar y el material del al menos un cuerpo polimérico deberían ser compatibles con el objeto de permitir la adhesión entre ellos. De este modo, se garantiza la estabilidad y la integración permanente de la

estructura compuesta del al menos un cuerpo polimérico y la espuma polimérica.

En una realización preferida de la presente invención, el material a espumar se selecciona del grupo que consiste en etileno-acetato de vinilo (EVA), etileno-butilacrilato (EBA), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de densidad media (MDPE), polipropileno (PP), ionómeros o mezclas que contienen uno o más de los mencionados anteriormente. Además, se pueden usar agentes de nucleación que ayudan al proceso de formación de espuma.

En una realización preferida de la invención, la etapa de someter el material polimérico a espumar a un gas a una presión elevada se lleva a cabo usando un gas que contiene dióxido de carbono (CO₂) y/o nitrógeno (N₂).

En otra realización preferida de la invención, el proceso de integración de los materiales poliméricos (del cuerpo y de la espuma) se lleva a cabo a través de cualquier método conocido de integración de materiales, preferiblemente por extrusión, moldeo por inyección o cualquier otro proceso relacionado de transformación de polímero.

En otra realización preferida de la invención, la etapa de exponer el material polimérico a espumar a una presión menor que la presión utilizada en la etapa anterior durante un tiempo suficiente tal que la tasa de pérdida de gas no afecte a la
5 estabilidad de las siguientes etapas es realizada a presión atmosférica durante un tiempo entre 0 y 90 minutos, preferiblemente entre 20 min y 70 min, ofreciendo una amplia ventana de procesamiento para un uso a escala industrial de la invención.

10

Finalmente, en una realización alternativa de la invención, el proceso de integración de los materiales definidos aquí se lleva a cabo de tal manera que las etapas de proporcionar al menos un cuerpo polimérico y el contacto de dicho cuerpo con
15 la espuma polimérica se llevan a cabo simultáneamente después de haber completado los otros pasos previamente definidos. Ejemplos específicos de esta realización incluyen la coextrusión del material espumado y el cuerpo o cuerpos no espumados, la laminación por extrusión del material espumado a
20 otras películas hechas de diferentes polímeros, revestimiento por extrusión, etc.

La presente invención se definirá adicionalmente mediante los siguientes ejemplos que son sólo ilustrativos y no pretenden

limitar el alcance de la invención definida en las reivindicaciones adjuntas. Otras modificaciones, realizaciones y variaciones de la invención serán evidentes para los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la presente
5 invención.

EJEMPLOS

Los siguientes ejemplos se hicieron utilizando equipo convencional de procesamiento por inyección y extrusión, tales
10 como los conocidos en el estado de la técnica sin necesidad de usar moldes especiales para el proceso de integración de la espuma al cuerpo polimérico.

**Ejemplo 1: Incorporación de un material polimérico
15 semicristalino a un cuerpo polimérico mediante inyección a baja temperatura y baja presión**

Se proporcionó un cuerpo polimérico hecho con un polímero de tipo polietileno de alta densidad (HDPE), que tiene una
20 temperatura de fusión cristalina entre 130 °C y 139 °C, con un índice de fusión (190 °C - 2.16 kg) entre 10 g/10 min y 20 g/10 min y una densidad a temperatura ambiente entre 0.94 g/cm³ y 0.96 g/cm³ y con una temperatura de liberación de tensión residual entre 110 °C y 130 °C.

El cuerpo polimérico mencionado anteriormente se integró con una espuma polimérica con el fin de reducir su peso y mejorar sus propiedades de impacto sin afectar la capacidad de reciclaje o las características dimensionales por un proceso de inyección a baja temperatura y baja presión. Con este fin, se proporciona un material polimérico a espumar compatible con el cuerpo polimérico, lo que favorece su adherencia, que tiene las siguientes características: Polímero del tipo acetato de vinilo de etileno (EVA), con contenido de acetato de vinilo entre 15% y 25% y temperatura de fusión cristalina entre 75 °C y 85 °C e índice de fusión (190 °C – 2.16 kg) entre 4 g/10 min y 12 g/10 min y una densidad a temperatura ambiente de 0.95 g/cm³.

El material polimérico a espumar se acondiciona previamente y se pone en contacto con dióxido de carbono (CO₂) a una presión entre 400 psi y 700 psi durante un tiempo mayor que una hora a temperatura ambiente, en donde es impregnado por el CO₂. Durante este periodo, el material absorbe entre 6% y 10% en peso de CO₂.

El uso de diferentes tiempos de impregnación no afecta significativamente al comportamiento de desorción, como se muestra en la Figura 1, que muestra curvas de desorción después

de poner en contacto el material polimérico con CO₂ durante 1,5, 3 y 24 horas.

Una vez finalizada la etapa de contacto del material polimérico con CO₂, el material se expone a las condiciones ambientales. El porcentaje de CO₂ por peso en el polímero disminuye desde el momento en que el material se expone a las condiciones ambientales. La etapa de inyección del material polimérico impregnado puede llevarse a cabo cuando el material alcanza un porcentaje de CO₂ entre 0.5% y 8% en peso, preferiblemente 0.5% y 4% en peso, más preferiblemente entre 0.8% y 2.5% en peso. Los valores de contenido de CO₂ anteriormente mencionados se alcanzan si la inyección se hace inmediatamente después que el material se expone a la presión atmosférica, preferiblemente cuarenta (40) minutos después y hasta un tiempo tan largo como aproximadamente setenta (70) minutos después que el material fue expuesto a la presión atmosférica, manteniendo así una densidad de formación de espuma estable. Como se muestra en la Figura 2, se alcanzan densidades inferiores a 0.5 g/cm³ con concentraciones superiores al 3.5% en peso de CO₂, y la densidad se estabiliza a un valor cercano a 0.52 g/cm³ con una desviación estándar de 0.005 g/cm³ cuando el tiempo de exposición a la presión atmosférica antes del proceso de inyección es superior a cuarenta (40) minutos, manteniendo la estabilidad con tiempos

de hasta setenta (70) minutos, lo que permite tener una importante ventana de procesabilidad.

Durante el proceso de inyección, el material se presuriza y se calienta permitiendo el proceso de formación de espuma después
5 que el material es inyectado. La formación de espuma y la integración por proceso de inyección entre el material polimérico impregnado con CO₂ y el cuerpo polimérico se realiza a baja temperatura, con una temperatura de fusión entre 70 °C y 105 °C, preferiblemente entre 70 °C y 95 °C y más
10 preferiblemente entre 80 °C y 90 °C, asegurando que el material espumado esté por debajo de la temperatura de liberación de tensiones residual del cuerpo polimérico (110 °C a 130 °C), evitando así deformaciones inducidas por la relajación de la tensión por temperatura en el cuerpo polimérico. Al integrar
15 la espuma polimérica por el proceso de inyección a baja temperatura, la temperatura del cuerpo polimérico se incrementa hasta 60 °C, progresivamente reduciéndose hasta alcanzar de nuevo la temperatura ambiente en un período cercano a una hora después de la inyección, como puede verse en la Figura 3.

20

El cuerpo polimérico integrado con la espuma polimérica puede ser reciclado para generar un nuevo cuerpo polimérico para la misma aplicación. El material reciclado puede ser incorporado total o parcialmente en el nuevo cuerpo polimérico. Para

mostrar lo anterior, se hicieron ciclos sucesivos de reciclado e incorporación en un 25% en peso de dicho material reciclado a cada ciclo para la fabricación de un nuevo cuerpo polimérico, hasta alcanzar un contenido EVA estable en el cuerpo polimérico, que corresponde a un 4.6% en peso después de cuatro (4) ciclos de reciclaje. Las propiedades obtenidas no muestran un detrimento significativo en las propiedades mecánicas debido al contenido de EVA, ya que sólo se observó una disminución del 8.2% en el módulo secante con EVA tipo 1 (promedio de 769.0 MPa y desviación estándar de 19.78 MPa) y 5.0% con EVA 2 (promedio de 795.8 MPa y desviación estándar de 16.48 MPa) con respecto a la propiedad del material del cuerpo polimérico sin reciclado o contenido de EVA (promedio de 837.4 MPa y desviación estándar de 13.72 MPa); por otro lado, se observó una mejora significativa en las propiedades de resistencia al impacto, ya que se obtuvieron valores 38% superiores con un EVA tipo 1 (media 7.1 KJ/m² y desviación estándar de 0.083 KJ/m²) y 26% mayor con EVA tipo 2 (promedio de 6.48 KJ/m² y desviación estándar de 0.023 KJ/m²) con respecto a la propiedad del material del cuerpo polimérico sin reciclaje o contenido de EVA (promedio de 5.1 KJ/m² y desviación estándar de 0.079 KJ/m²) como se muestra en la Figura 4.

Para esta aplicación se pueden considerar otros polímeros, tales como: ionómeros con temperaturas de fusión cristalinas comprendidas entre 70 °C y 100 °C, o acetato de etilo butilo (EBA) con temperaturas de fusión cristalinas comprendidas entre
5 80 °C y 100 °C. Debido a las bajas temperaturas de fusión cristalina y a la compatibilidad con el polietileno de alta densidad, se esperan resultados similares. También se puede considerar el uso de agentes de nucleación con el material polimérico a espumar, en el que se espera una mejora en la
10 uniformidad del tamaño de las células y, por lo tanto, un mejor comportamiento en las propiedades estructurales.

De manera similar, el ejemplo antes mencionado se puede extrapolar a otras aplicaciones en las que se requieren mejorar
15 las características, tales como: reducción de peso, resistencia al impacto, aislamiento térmico o aislamiento acústico de un cuerpo polimérico en el que las características dimensionales o geométricas, así como sus propiedades de reciclabilidad, no se ven afectadas.

20

Ejemplo 2: Incorporación mediante inyección a baja presión de espumas de polietileno y polipropileno en un cuerpo polimérico

Con el fin de evaluar el rendimiento de la presente invención en otros materiales, se proporcionan dos polímeros semicristalinos como materiales a espumar, uno de los cuales es polietileno de alta densidad (HDPE), que tiene una temperatura de fusión cristalina entre 130 °C y 139 °C, con un índice de fusión (190 °C a 2.16 kg) entre 10 g/10 min y 20 g/10 min y una densidad a temperatura ambiente entre 0.94 g/cm³ y 0.96 g/cm³ y el otro material es polipropileno (PP) que tiene una temperatura de fusión cristalina entre 165 °C y 170 °C, con un índice de fusión (230 °C a 2.16 kg) entre 4 g/10 min y 10 g/10 min y una densidad a temperatura ambiente entre 0.90 g/cm³ y 0.92 g/cm³. Se espera un buen rendimiento con otros materiales de espuma polimérica, tales como polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de densidad media (MDPE), polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) y copolimeros de polipropileno (PP-C), puesto que estos polímeros presentan mejores valores de resistencia a la fusión en comparación con el polietileno de alta densidad (HDPE). Los materiales anteriores pueden ser integrados en polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), policarbonato (PC), polietileno tereftalato (PET), poliamida (PA), polioxietileno (POM), cuerpos poliméricos tipo poliéter éter cetona (PEEK), entre otros materiales, cuya temperatura de liberación de

tensión residual está por encima de la temperatura de inyección de la espuma polimérica.

Tanto el PP como el HDPE se ponen en contacto con CO₂ a una presión entre 400 PSI y 700 PSI durante un periodo de tiempo entre 2 y 4 horas a temperatura ambiente, en el que absorben entre 1% y 2% en peso de CO₂. Después de tal período, el material se expone a la presión atmosférica. El contenido de CO₂ por peso en el polímero disminuye a partir de este momento.

El proceso de inyección del material polimérico impregnado se realiza diez (10) minutos después que el material se expone a la presión atmosférica, preferiblemente veinte (20) minutos después. El contenido de CO₂ por peso para el proceso de inyección está comprendido entre 0.5% y 1% en peso. Para el PE, preferiblemente entre 0.5% y 1% y para el PP está entre 0.5% y 2% en peso, preferiblemente entre 0.5% y 1% en peso.

En la Figura 5, se puede observar una disminución en el contenido de CO₂ por peso una vez que el material se expone a la presión atmosférica. Después de 40 minutos, el contenido es alrededor de 0.5% en peso para HDPE y 1.0% en peso para PP.

Durante el proceso de inyección, el material se presuriza y se calienta permitiendo el proceso de formación de espuma después

que el material es inyectado. El proceso de integración por inyección del material polimérico impregnado con CO₂ tiene lugar a un punto de fusión entre 170 °C y 200 °C para HDPE y entre 180 °C y 210 °C para PP. Con estas condiciones de procesamiento, se obtienen densidades para el material polimérico a temperatura ambiente para HDPE entre 0,38 g/cm³ y 0.47 g/cm³, lo que corresponde a una reducción de la densidad del 57% con respecto al HDPE no espumado y para densidades de PP entre 0.44 g/cm³ y 0.55 g/cm³, lo que corresponde a una reducción de la densidad del 46% con respecto al PP sin espuma. Los valores de densidad permanecen estables para los tiempos de exposición de material a la presión atmosférica, antes del proceso de inyección, superiores a 60 minutos, proporcionando amplia ventana de procesabilidad, como se muestra en la figura 6.

En términos de propiedades, la relación entre el esfuerzo de compresión y la densidad como indicador normalizado de rigidez (KPa/g/cm³), muestra un comportamiento comparable entre los materiales poliméricos espumados y los materiales poliméricos no espumados a tensiones de compresión entre 0% y 4% para HDPE y entre 0% y 8% para PP como se muestra en la figura 7. Tales valores de deformación comprenden el intervalo de condiciones de uso normal para una parte polimérica. Esta característica

es altamente deseable en espumas estructurales, tal como por ejemplo en el caso de una placa, la deflexión esperada por efectos de su propio peso será aproximadamente la misma para el material no espumado al material espumado.

5

Dentro de las posibles aplicaciones de la tecnología descrita en el proceso de inyección a baja presión, se incluyen aquellas en las que se requiere reducir el peso, mejorar la resistencia al impacto, aislamiento térmico, aislamiento acústico, relleno
10 de cavidades, etc.

Ejemplo 3: Integración de una espuma polimérica a un cuerpo polimérico mediante un proceso de extrusión

15 En otra aplicación particular, mediante un proceso de transformación por extrusión, se proporcionan dos polímeros semicristalinos como materiales a espumar, uno de los cuales es polietileno de baja densidad (LDPE), que tiene una temperatura de fusión cristalina entre 120 °C y 130 °C, con un
20 índice de fusión (190 °C - 2.16 kg) entre 2 g/10 min y 10 g/10 min y una densidad a temperatura ambiente entre 0.91 g/cm³ y 0.94 g/cm³ y otro material de tipo polipropileno (PP) que tiene una temperatura de fusión cristalina entre 165 °C y 170 °C, con un índice de fusión (230 °C - 2.16 kg) entre 4 g/10 min y

10 g/10 min y una densidad a temperatura ambiente entre 0.90 g/cm³ y 0.92 g/cm³. Estos materiales espumados se pueden integrar a un cuerpo polimérico cuyo material puede estar en los tipos de polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno
5 (PP), policarbonato (PC), polietileno tereftalato (PET), poliamida (PA), entre otros materiales cuyas temperaturas de liberación de tensión están por encima de la temperatura de extrusión de la espuma polimérica. La integración puede llevarse a cabo mediante procesos de laminación por extrusión,
10 recubrimiento por extrusión, coextrusión, etc. Esta integración entre un cuerpo polimérico y una espuma polimérica extruida es deseable en aplicaciones en las que se requiere reducir la densidad y el peso, mejorando el rendimiento de propiedades tales como resistencia al impacto, aislamiento
15 térmico, aislamiento acústico, etc.

Tanto el LDPE como el PP se ponen en contacto con CO₂ a una presión entre 400 PSI y 700 PSI durante un periodo de tiempo
20 entre 2 y 4 horas a temperatura ambiente, en donde absorben entre 0.5% y 2% en peso de CO₂. Después de tal período, el material se expone a presión atmosférica. El porcentaje de CO₂ por peso en el polímero disminuye a partir de este momento. El proceso de extrusión del material polimérico impregnado

comienza cinco (5) minutos después que el material fue expuesto a la presión atmosférica. El porcentaje de contenido de CO₂ por peso para el proceso de extrusión está entre 0.5% y 1.5% en peso. Para LDPE, preferiblemente entre 0.5% y 1% en peso, y para PP está entre 0.5% y 2% en peso, preferiblemente entre 0.5% y 1% en peso, como se muestra en la figura 8.

Durante el proceso de extrusión, el material es presurizado y calentado permitiendo el proceso de formación de espuma y la integración con un cuerpo polimérico. Los materiales poliméricos impregnados se proporcionan al proceso de extrusión a una temperatura de fusión entre 170 °C y 200 °C para LDPE y entre 180 °C y 210 °C para PP. Con estas condiciones de procesamiento, se obtienen densidades del material polimérico a temperatura ambiente para LDPE entre 0.22 g/cm³ y 0.24 g/cm³, lo que corresponde a una reducción de la densidad del 74% con respecto al LDPE no espumado y para densidades de PP entre 0.42 g/cm³ y 0.50 g/cm³, lo que corresponde a una reducción de la densidad del 46% con respecto al PP sin espuma, como puede verse en la figura 9.