



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 213 574**

51 Int. Cl.:
B29C 44/42 (2006.01)
B29C 44/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA

T5

- 86 Número de solicitud europea: **00919886 .2**
86 Fecha de presentación : **30.03.2000**
87 Número de publicación de la solicitud: **1165301**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **02.01.2002**

54 Título: **Sistema para fabricar espumas de polímeros que incluyen un elemento de restricción de presión y método correspondiente.**

30 Prioridad: **02.04.1999 US 285948**

45 Fecha de publicación de la mención y de la traducción de patente europea: **01.09.2004**

45 Fecha de la publicación de la mención de la patente europea modificada BOPI: **01.02.2008**

45 Fecha de publicación de la traducción de patente europea modificada: **01.02.2008**

73 Titular/es: **Trexel, Inc.**
45 Sixth Rd.
Woburn, Massachusetts 01801, US

72 Inventor/es: **Xu, Jingyi**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 213 574 T5

DESCRIPCIÓN

Sistema para fabricar espumas de polímeros que incluyen un elemento de restricción de presión y método correspondiente.

Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, al tratamiento de espuma polímera y, más particularmente, a un sistema y a un método para fabricar espumas de polímeros, que incluyen espumas microcelulares. El documento de patente US-A-3.687.582 describe un sistema para inyectar cíclicamente material polímero espumable en un molde, en el que un plastificante alimenta una cámara de acumulación conectada con el aparato de moldeo y en el que se inyecta un gas de espumación.

Antecedentes de la invención

Se define, típicamente, espuma microcelular la que tiene tamaños de celda de menos que 100 micras y una densidad de celda mayor que 10^6 celdas/cm³ del material macizo original. Generalmente, los requisitos para formar espumas microcelulares incluyen crear una solución de fase única de material polímero y agente de soplado físico, y someter la solución a una inestabilidad termodinámica para crear lugares de nucleación de densidad muy alta que crecen en las celdas.

Se han descrito métodos para moldear material microcelular. La patente de EE.UU. número 4.473.665 (Martini-Vvedensky) describe un sistema y un método de moldeo para producir piezas microcelulares. Se comprimen previamente peletes polímeros con un agente de soplado gaseoso y se funden en una extrusora usual para formar una solución de agente de soplado y polímero fundido, que se extruye entonces en una cavidad de molde a presión. La presión en el molde se mantiene por encima de la presión de solubilidad del agente de soplado gaseoso a temperaturas de fusión para la saturación inicial dada. Cuando la temperatura de la pieza moldeada cae hasta la temperatura de nucleación crítica apropiada, se hace caer la presión en el molde, típicamente, hasta temperatura ambiente y se permite que la pieza espume.

La patente de EE.UU. número 5.158.986 (Cha *et al.*) describe un sistema y un método de moldeo alternativos para producir piezas microcelulares. Se introducen peletes polímeros en una extrusora convencional y se funden. Un agente de soplado de dióxido de carbono en su estado supercrítico se establece en el cilindro de extrusión y se mezcla para formar una solución homogénea de agente de soplado y material polímero. Se calienta una porción del cilindro de extrusión de manera que la mezcla circula a través del cilindro, se crea una inestabilidad termodinámica, creando por ello lugares de nucleación en el material polímero fundido. El material nucleado se extruye en una cavidad de molde a presión. La presión dentro del molde es mantenida por la contrapresión del aire. El crecimiento de celdas ocurre en el interior de la cavidad de molde cuando ésta se expande y la presión en ella se reduce rápidamente; la expansión del molde proporciona un artículo moldeado y espumado que tiene pequeños tamaños de celda y altas densidades de celda. La nucleación y el crecimiento de celdas ocurren separadamente según la técnica; la nucleación térmicamente inducida tiene lugar en el cilindro de la extrusora y el crecimiento de celdas tiene lugar en el molde.

El uso de válvulas de retención, incluyendo válvulas de retención anulares, se conoce en moldeo por inyección para impedir que el plástico fundido acumulado en el extremo distal de un tornillo de vaivén circule hacia atrás durante una inyección del plástico en un molde.

Las siguientes solicitudes de patente de EE.UU. describen configuraciones típicas de válvula de retención usadas en sistemas de tratamiento de plásticos. La patente de EE.UU. número 4.512.733 (Eichlseder *et al.*) describe una válvula de retención en el extremo de un tornillo plastificador para un aparato de moldeo por inyección. La válvula de retención comprende una carcasa de válvula y un miembro de válvula axialmente desplazable que está recibido en esta carcasa.

La patente de EE.UU. número 5.164.207 (Durina) describe una extrusora de plásticos que tiene un tornillo rotatorio dentro de un armazón cilíndrico que se usa para alimentar plástico fundido a un aparato de moldeo por inyección a alta presión. Una válvula de cierre automático está montada en el extremo delantero del tornillo. Durante la operación de extrusión, se fuerza la válvula a que se abra para permitir que el plástico fundido circule desde la extrusora hasta el moldeador por inyección. La válvula se cierra automáticamente bajo la acción de un resorte durante la operación de moldeo por inyección a alta presión para impedir reflujo de plástico a través de la extrusora.

La patente de EE.UU. número 5.258.158 (Dray) describe una válvula antirretorno de tipo mandado que se usa para detener eficazmente el flujo inverso de material en máquinas de moldeo por inyección. La válvula puede estar conectada a un extremo aguas abajo del tornillo con una rosca o puede ser, también, una pieza enteriza del tornillo. La válvula permite que el material pase cuando el tornillo está rotando, pero se cierra cuando el tornillo se traslada hacia delante, como en un ciclo de moldeo por inyección, sin rotación del tornillo.

El documento JP-A-11-34130 describe un sistema de moldeo por inyección que incluye un dispositivo, que se opone a la aspiración de retorno, situado entre una sección del tornillo de plastificación y una sección del tornillo de agitación.

Aunque los informes anteriores y otros representan varias técnicas y sistemas asociados con la fabricación de material de espuma y material microcelular, existe una necesidad en la técnica para sistemas mejorados de tratamiento de espuma y, en particular, de tratamiento de espuma microcelular.

Un objeto de la invención es, por lo tanto, proporcionar sistemas, métodos y artículos útiles en la producción de espumas microcelulares y, también, útiles en la producción de espumas usuales.

Sumario de la invención

La presente invención está definida en las reivindicaciones 1 y 17 que siguen, estando dirigidas las reivindicaciones dependientes a propiedades óptimas o preferidas. En general, la invención está dirigida a un sistema y un método útil en la producción de espumas y, en particular, espumas microcelulares. Los sistemas incluyen un elemento de restricción que reduce el reflujo de masa fundida de polímeros en una extrusora, al tiempo que inyecta material polímero en un molde o expulsa material polímero a través de una matriz. El elemento de restricción está situado aguas arriba de una lumbrera de inyección de agente de so-

plado para mantener la solución de polímero y agente de soplado en la extrusora por encima de una presión mínima y, preferiblemente, por encima de la presión requerida para el mantenimiento de una solución de fase única de polímero y agente de soplado. El sistema se puede usar en moldeo por inyección, moldeo por soplado o en cualquier otra técnica de tratamiento que acumula e inyecta material polímero en un molde o expulsa material polímero de una matriz. En algunas realizaciones, el sistema utiliza tornillos de vaivén para inyección o expulsión o, en otras realizaciones, el sistema incluye un acumulador conectado a una salida de la extrusora, en el que un núcleo móvil se mueve para inyectar o expulsar material polímero.

En una realización preferida, el elemento de restricción está construido y dispuesto para restringir el flujo aguas arriba de material polímero a su través a fin de mantenerlo aguas abajo del elemento de restricción a una presión mayor que la presión crítica requerida para una solución de fase única de material polímero y agente de soplado. En ciertas realizaciones preferidas, el elemento de restricción es una válvula de retención anular. En algunos casos preferidos, la válvula de retención anular está cargada por resorte.

Entre otras ventajas, el elemento de restricción restringe el reflujo (flujo aguas arriba) de material polímero y mantiene la presión aguas abajo de la solución de polímero y agente de soplado por todo un ciclo de inyección o un ciclo de expulsión. Esto permite que la solución de fase única de polímero y agente de soplado formada durante los procedimientos microcelulares se mantenga continuamente en la extrusora. Puesto que el tratamiento microcelular requiere el mantenimiento de la solución de fase única, el elemento de restricción es particularmente útil en la formación de espuma microcelular.

El elemento de restricción está destinado a ser usado para mantener la presión en sistemas que incluyen tornillos de vaivén para inyección o expulsión y, también, en sistemas que tienen un acumulador externo que utiliza un núcleo móvil para inyección o expulsión. En sistemas de tratamiento típicos que no incluyen el elemento de restricción e implican la inyección o expulsión de material polímero, es difícil, si no imposible, mantener la presión por todo un ciclo de inyección o de expulsión. Por ejemplo, en sistemas que usan tornillos de vaivén para la inyección, el material polímero circulará, típicamente, hacia atrás cuando el tornillo se mueva en vaivén en una dirección aguas abajo para inyectar material, lo que da como resultado una caída de presión en el material polímero en la extrusora, a menudo por debajo de la requerida para el mantenimiento de la solución de fase única. En otros sistemas que usan un acumulador externo a una extrusora, la presión cae, típicamente, cuando el tornillo está en reposo durante la inyección.

El elemento de restricción está situado, ventajosamente, aguas arriba de la abertura de inyección de agente de soplado, de manera que toda la solución de polímero y agente de soplado se mantiene a altas presiones. Esta situación se distingue de otras válvulas situadas en un extremo distal del tornillo en que sólo impiden el reflujo y la caída de presión en el material polímero acumulado aguas abajo del tornillo y, así, no sería eficaz al mantener toda la solución de polímero y agente de soplado a altas presiones.

En ciertas realizaciones de la invención, el elemento de restricción permite flujo aguas arriba li-

mitado de material polímero a su través. Este flujo aguas arriba limitado puede impedir que altas presiones inseguras surjan durante la inyección, pero no es suficientemente significativo para reducir la presión aguas abajo de la restricción por debajo de la requerida para el mantenimiento de la solución de fase única.

A menos que se defina de otro modo, todos los términos técnicos y científicos usados en esta memoria tienen el mismo significado que el que es entendido comúnmente por un experto ordinario en la técnica al que pertenece la invención. Aunque se pueden usar métodos y sistemas similares o equivalentes a los descritos en esta memoria en la práctica o ensayo de la presente invención, se describen en lo que sigue métodos y sistemas adecuados. En caso de conflicto, la presente memoria descriptiva, incluyendo definiciones, los controlará. Además, los sistemas, métodos y ejemplos son sólo ilustrativos y no están destinados a ser limitativos.

Otras ventajas, propiedades nuevas y objetos de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención y a partir de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un sistema de moldeo por inyección que incluye un tornillo de vaivén en una posición de acumulación.

La figura 1A es una vista en despiece ordenado de la sección 39 en el sistema de moldeo por inyección de la figura 1.

La figura 2 ilustra una sección de un elemento de restricción que permite el flujo de material polímero en una dirección aguas abajo en el sistema de moldeo por inyección de la figura 1.

La figura 3 ilustra un sistema de moldeo por inyección que incluye un tornillo de vaivén en una posición de inyección.

La figura 4 ilustra una sección de un elemento de restricción que impide el flujo de material polímero en una dirección aguas arriba en el sistema de moldeo por inyección de la figura 3.

La figura 5 ilustra un sistema de moldeo por inyección que incluye un acumulador en una posición de inyección.

La figura 6 ilustra un sistema de moldeo por inyección que incluye un acumulador en una posición de acumulación.

La figura 7 ilustra una sección de un elemento de restricción que permite el flujo de material polímero en una dirección aguas abajo en el sistema de moldeo por inyección de la figura 6.

La figura 8 ilustra una sección de un elemento de restricción que impide el flujo de material polímero en una dirección aguas arriba en el sistema de moldeo por inyección de la figura 5.

Descripción detallada de la invención

La solicitud internacional de patente con número de serie PCT/US97/15088 en tramitación junto con la presente y de titularidad común, presentada el 26 de agosto de 1997 y publicada el 5 de marzo de 1998 como WO 98/08867, y la solicitud internacional de patente con número de serie PCT/US97/27118 en tramitación junto con la presente y de titularidad común, presentada el 18 de diciembre de 1998, y la solicitud de EE.UU. con número de serie 09/241.352 en tramitación junto con la presente y de titularidad común, presentada el 2 de febrero de 1999, se mencionan en la descripción que sigue a continuación.

Las diversas realizaciones y aspectos de la invención se comprenderán mejor a partir de las siguientes definiciones. Como se usa en esta memoria, “nucleación” define un procedimiento por el que una solución homogénea de fase única de material polímero, en la que están disueltas moléculas de una especie que es un gas bajo condiciones ambiente, experimenta formaciones de grupos de moléculas de las especies que definen “lugares de nucleación”, a partir de los que crecerán celdas. Es decir, “nucleación” significa un cambio desde una solución homogénea de fase única hasta una mezcla en la que se forman lugares de agregación de al menos varias moléculas de agente de soplado. La nucleación define ese estado transitorio en el que el gas, en solución en una masa fundida de polímeros, sale de la solución para formar una suspensión de burbujas dentro de la masa fundida de polímeros. Generalmente, este estado de transición se fuerza a que ocurra cambiando la solubilidad de la masa fundida de polímeros desde un estado de solubilidad suficiente para contener una cierta cantidad de gas en solución hasta un estado de solubilidad insuficiente para contener esa misma cantidad de gas en solución. La nucleación se puede efectuar sometiendo la solución homogénea de fase única a rápida inestabilidad termodinámica, tal como un rápido cambio de temperatura, una rápida caída de presión o ambos. La rápida caída de presión se puede crear usando una trayectoria de nucleación definida en lo que sigue. El rápido cambio de temperatura se puede crear usando una porción calentada de una extrusora, un baño de glicerina caliente o similar. Un “agente de nucleación” es un agente disperso, tal como partículas de talco o de otra carga, añadido a un polímero y capaz de favorecer la formación de lugares de nucleación a partir de una solución homogénea de fase única. Así, los “lugares de nucleación” no definen situaciones, dentro de un polímero, en las que residen partículas de agente de nucleación. “Nucleado” hace referencia a un estado de un material polímero fluido que había contenido una solución homogénea de fase única, incluyendo una especie disuelta que es un gas bajo condiciones ambiente, a continuación de un suceso (típicamente, inestabilidad termodinámica) que conduce a la formación de lugares de nucleación. “No nucleado” hace referencia a un estado definido por una solución homogénea de fase única de material polímero y especies disueltas que son un gas bajo condiciones ambiente, en ausencia de lugares de nucleación. Un material “no nucleado” puede incluir un agente de nucleación, tal como talco. “Material polímero” hace referencia a un material que es sustancialmente, sino enteramente, polímero por naturaleza. “Material polímero” opcionalmente puede incluir, también, otros aditivos conocidos en la técnica, tales como cargas, agentes de nucleación, y puede incluir un agente de soplado disuelto en el polímero. Material microcelular de “celdas esencialmente cerradas” se supone que define material que, a un espesor de aproximadamente 100 micras, contiene trayectorias de celda no conectadas a través del material. “Trayectoria de nucleación” se supone que define una trayectoria que forma parte de un aparato de extrusión de espuma polímera microcelular y en el que, bajo condiciones en las que el aparato está diseñado para funcionar (típicamente, a presiones de desde aproximadamente 10,5 hasta aproximadamente 210 MPa aguas arriba del nucleador y a caudales mayores que aproximadamente 4,5 Kg de

material polímero por hora), la presión de una solución de fase única de material polímero mezclado con agente de soplado en el sistema cae por debajo de la presión de saturación para la concentración particular de agente de soplado a un régimen o regímenes que facilitan la rápida nucleación. Una trayectoria de nucleación define, opcionalmente con otras trayectorias de nucleación, una nucleación o una región de nucleación de un dispositivo de la invención.

Para los fines de la presente invención, se define material microcelular como material espumado que tiene un tamaño promedio de celda de menos que aproximadamente 100 micras de diámetro, o material de densidad de celda, en general, mayor que al menos aproximadamente 10^6 celdas por centímetro cúbico o preferiblemente ambos. Dentro del alcance de esta definición, material microcelular puede incluir un pequeño porcentaje (menor que el 1% del número total de celdas) de celdas que tienen un tamaño de celda mayor que aproximadamente 100 micras de diámetro. La fracción de huecos del material microcelular varía, en general, desde el 5% hasta el 98%.

En realizaciones preferidas, el material microcelular producido según los sistemas y métodos de la invención tiene un tamaño promedio de celda menor que aproximadamente 50 micras. En algunas realizaciones, se desea un tamaño de celda particularmente pequeño y, en estas realizaciones, el material de la invención tiene un tamaño promedio de celda menor que aproximadamente 20 micras, más preferiblemente menor que aproximadamente 10 micras, y más preferiblemente aún menor que aproximadamente 5 micras. El material microcelular tiene, preferiblemente, un tamaño máximo de celda de aproximadamente 100 micras. En realizaciones en las que se desea un tamaño de celda particularmente pequeño, el material puede tener un tamaño de celda máximo de aproximadamente 50 micras, de modo más preferible aproximadamente 25 micras, de modo más preferible aproximadamente 15 micras, de modo más preferible aproximadamente 8 micras, y más preferible aún aproximadamente 5 micras. Un conjunto de realizaciones incluye todas las combinaciones de estos tamaños de celda promedios y tamaños de celda máximos señalados. Por ejemplo, una realización en esta conjunto de realizaciones incluye material microcelular que tiene un tamaño de celda promedio menor que aproximadamente 30 micras con un tamaño de celda máximo de aproximadamente 50 micras, y como otro ejemplo un tamaño de celda promedio menor que aproximadamente 30 micras con un tamaño de celda máximo de aproximadamente 35 micras, etc. Es decir, se puede producir material microcelular diseñado para una variedad de fines que tenga una combinación particular de tamaño de celda promedio y un tamaño de celda máximo preferible para ese cometido.

En una realización, se produce material microcelular de celdas esencialmente cerradas de acuerdo con las técnicas de la presente invención. Como se usa en esta memoria, material de “celdas esencialmente cerradas” se supone que define material que, a un espesor de aproximadamente 100 micras, contiene trayectorias de celda no conectadas a través del material.

En otras realizaciones, el material producido usando los sistemas y métodos de la invención son espumas usuales con tamaños de celda promedios mayores que 100 micras. En algunas realizaciones, las espumas pueden ser principalmente microcelulares pero

pueden tener, también, regiones que incluyen un pequeño porcentaje de celdas grandes. Es decir, en estas realizaciones, la mayoría de las celdas tienen un tamaño de celda menor que 100 micras y una minoría de celdas tienen un tamaño mayor que 100 micras.

La presente invención prevé sistemas, métodos y artículos para el tratamiento de material polímero, incluyendo material polímero microcelular y, en particular, sistemas, métodos y artículos para el tratamiento de material polímero inyectándolo cíclicamente en un molde o expulsándolo cíclicamente a través de una matriz. Los expertos ordinarios en la técnica comprenden la definición estructural de un sistema que está construido y dispuesto para inyectar cíclicamente material polímero en un molde o para expulsar cíclicamente material polímero de una matriz. La presente invención abarca todas las estructuras, no está limitada a aquellas estructuras descritas en esta memoria. Por ejemplo, aunque se describe principalmente moldeado por inyección, la invención puede ser fácilmente modificada por los expertos ordinarios en la técnica para su uso en otras técnicas que utilicen ciclos de inyección o ciclos de expulsión, tal como la de moldeado por soplado.

Haciendo referencia a las figuras 1-4, según una realización de la invención, un sistema 20 de moldeado por inyección incluye una extrusora 30 conectada para circulación de fluido con un molde de inyección 37. Un tornillo 38 de tratamiento de polímeros rota dentro de un cilindro 32 de la extrusora para transportar material polímero en una dirección aguas abajo 33 en un espacio 34 de tratamiento de polímeros definido entre el tornillo y el cilindro. El sistema incluye una lumbrera 54 de agente de soplado que conecta para circulación de fluido una fuente 56 de agente de soplado con el espacio 34 de tratamiento de polímeros para la inyección del agente de soplado en el material polímero dentro del espacio de tratamiento a fin de formar una solución de polímero y agente de soplado en él. Al principio de un ciclo de inyección, el tornillo 38 de tratamiento de polímeros se sitúa en una posición de acumulación (Fig. 1) y una carga de polímero y agente de soplado se acumula en una región de acumulación 50 dentro del cilindro aguas abajo desde el tornillo 38. Una vez que se ha acumulado suficiente carga de la solución, el tornillo se mueve en una dirección aguas abajo hasta una posición de inyección (Fig. 3) para inyectar la solución en el molde 37. Después de la inyección, el tornillo vuelve a la posición de acumulación para completar el ciclo. Como se describe además en lo que sigue, el sistema incluye un elemento de restricción 35 dispuesto aguas arriba de la lumbrera 54 de agente de soplado para mantener la solución de polímero y agente de soplado aguas abajo del elemento de restricción a presión suficiente por todo el ciclo de inyección. El elemento de restricción se mantiene aguas arriba de la lumbrera de agente de soplado en todo momento durante el vaivén del tornillo.

Unas unidades 42 de control de temperatura están situadas, opcionalmente, a lo largo del cilindro 32. Las unidades de control 42 pueden ser calentadores eléctricos y pueden incluir conductos de paso para fluido de control de la temperatura, y/o similares. Las unidades 42 se pueden usar para calentar una corriente de material polímero peletizado o fluido dentro del cilindro para facilitar la fusión y/o para enfriar la corriente a fin de controlar la viscosidad y, en

algunos casos, la solubilidad del agente de soplado. Las unidades de control de temperatura pueden funcionar de modo distinto en situaciones diferentes a lo largo del cilindro, es decir, calentando en una o más situaciones y enfriando en una o más situaciones diferentes. Se puede prever cualquier número de unidades de control de temperatura.

El cilindro 32 está construido y dispuesto para recibir un precursor de material polímero. Tal como se usa en la presente memoria, "precursor de material polímero" se supone que incluye todos los materiales que son fluidos, o que pueden formar un fluido y que posteriormente pueden endurecer para formar un artículo polímero microcelular o un artículo usual de espuma polímera. Típicamente, el precursor está definido por peletes polímeros termoplásticos, pero puede incluir otras especies. Por ejemplo, en una realización, el precursor se puede definir por especies que reaccionan para formar material polímero microcelular como se ha descrito, bajo una variedad de condiciones. La invención se supone que abarca la producción de material microcelular a partir de cualquier combinación de especies que pueden reaccionar juntas para formar un polímero, típicamente monómeros o precursores polímeros de bajo peso molecular que se mezclan y espuman mientras tiene lugar la reacción. En general, las especies abarcadas por la invención incluyen polímeros termoeestables en los que ocurre un aumento significativo en el peso molecular del polímero durante la reacción, y durante la espumación, debido a la reticulación de componentes polímeros. Por ejemplo, poliamidas del tipo condensación y adición, que incluyen poliamidas alifáticas y aromáticas tales como polihexametilenadipamida, poli(ϵ -caprolactamo), polienos tales como polímeros cicloaromáticos que incluyen polidiciclopentadieno, polímeros acrílicos tales como poli(acrilamida), poli(acrilato), polímeros de éster acrílico tales como polímeros de éster 2-cianoacrílico, polímeros de acrilonitrilo, y combinaciones.

Preferiblemente, un polímero termoplástico o una combinación de polímeros termoplásticos se selecciona de entre material amorfo, semicristalino y cristalino que incluye poliaromáticos tales como polímeros estirénicos que incluyen poliestireno, poliolefinas tales como polietileno y polipropileno, fluoropolímeros, poliolefinas reticulables, poliamidas y poli(cloruro de vinilo). Se pueden usar también elastómeros termoplásticos, especialmente polietileno catalizado por metaloceno.

Típicamente, la introducción del precursor prepolímero utiliza una tolva 44 estándar para contener material polímero peletizado para ser alimentado en el cilindro de la extrusora a través del orificio 46, aunque un precursor puede ser un material prepolímero fluido inyectado a través de un orificio y polimerizado dentro del cilindro a través de, por ejemplo, agentes de polimerización auxiliares. En conexión con la presente invención, es importante sólo que se establezca una corriente de fluido de material polímero en el sistema.

En esta realización, a lo largo del cilindro 32 del sistema 30 está al menos una lumbrera 54 en comunicación de fluido con la fuente 56 de un agente de soplado físico. Cualquiera de una amplia variedad de agentes de soplado físicos conocidos para los expertos ordinarios en la técnica tales como hidrocarburos, clorofluorocarburos, nitrógeno, dióxido de carbono, y similares se pueden usar en conexión con la inven-

ción, o mezclas de los mismos, y, según una realización preferida, la fuente 56 proporciona dióxido de carbono como un agente de soplado. Se prefieren especialmente agentes de soplado fluidos supercríticos, en particular, dióxido de carbono supercrítico. En una realización, se usa exclusivamente dióxido de carbono supercrítico como agente de soplado. Se puede introducir dióxido de carbono supercrítico en la extrusora y hacer que forme rápidamente una solución de fase única con el material polímero inyectando dióxido de carbono como un fluido supercrítico o inyectando dióxido de carbono como un gas o un líquido y permitiendo que las condiciones dentro de la extrusora dejen supercrítico el dióxido de carbono. Se prefiere la inyección de dióxido de carbono en la extrusora en un estado supercrítico. La solución de fase única de dióxido de carbono supercrítico y material polímero formada de esta manera tiene una viscosidad muy baja que permite ventajosamente el moldeo a temperatura inferior, así como el llenado rápido de los moldes que tienen tolerancias apretadas para formar piezas moldeadas muy delgadas, que se describe con mayor detalle en lo que sigue.

Una ventaja de usar un agente de soplado físico, en lugar de un agente de soplado químico, es que se maximiza el carácter reciclable del producto. El uso de un agente de soplado químico reduce típicamente el atractivo de un polímero para ser reciclado, ya que el agente de soplado químico residual y los subproductos del agente de soplado contribuyen a una masa total de material reciclable no uniforme. Ya que las espumas sopladas con agentes de soplado químicos incluyen intrínsecamente un agente de soplado químico residual sin reaccionar después de que se ha fabricado un producto final de espuma, así como subproductos químicos de la reacción que forman un agente de soplado, el material de la presente invención en este conjunto de realizaciones incluye agente de soplado químico residual o subproducto de reacción de agente de soplado químico, en una cantidad menor que la intrínsecamente encontrada en artículos soplados con el 0,1% en peso de agente de soplado químico o más, preferiblemente, en una cantidad menor que la intrínsecamente encontrada en artículos soplados con el 0,05% en peso de agente de soplado químico o más. En realizaciones particularmente preferidas, el material está caracterizado por estar esencialmente libre de agente de soplado químico residual o libre de subproductos de reacción de agente de soplado químico. Es decir, incluyen menos agente de soplado químico residual o subproducto que el intrínsecamente encontrado en artículos soplados con cualquier agente de soplado químico.

Un dispositivo de presión y medición 58 está previsto, típicamente, entre la fuente 56 de agente de soplado y dicha al menos una lumbrera 54. El dispositivo 58 se puede usar para medir el agente de soplado, a fin de controlar la cantidad del agente de soplado en la corriente polímera dentro de la extrusora para mantener el agente de soplado a un nivel, según un conjunto de realizaciones, entre aproximadamente el 1% y el 25% en peso, preferiblemente entre aproximadamente el 6% y el 20% en peso, más preferiblemente entre aproximadamente el 8% y el 15% en peso, más preferiblemente aún entre aproximadamente el 10% y el 12% en peso, basándose en el peso de la corriente polímera y del agente de soplado. El agente de soplado particular usado (dióxido de carbono, nitrógeno,

etc.) y la cantidad de agente de soplado usada es, a menudo, dependiente del polímero, la reducción de densidad, el tamaño de celda y las propiedades físicas deseadas.

El dispositivo de presión y medición puede estar conectado a un controlador (no mostrado) que está conectado, también, al motor de accionamiento 40 para controlar la medición de agente de soplado en relación al flujo de material polímero para controlar muy precisamente el porcentaje en peso de agente de soplado en la mezcla polímera fluida.

Aunque la lumbrera 54 puede estar situada en cualquiera de una variedad de situaciones a lo largo del cilindro, según una realización preferida, está situada justamente aguas arriba de una sección de mezcla 60 del tornillo y en una sección 62 de recepción de agente de soplado del tornillo en la que el tornillo incluye tramos no discontinuos. La sección de mezcla 60 es particularmente útil para mezclar el agente de soplado y el polímero a fin de favorecer la formación de una solución de fase única de polímero y agente de soplado dentro de la extrusora.

La disposición descrita facilita un método que se puede poner en práctica según varias realizaciones de la invención, en combinación con moldeo por inyección o expulsión de material polímero a través de una matriz. El método implica introducir, en un material polímero fluido que circula a un régimen de desde aproximadamente 180 hasta aproximadamente 640 g por hora, un agente de soplado que es gas bajo condiciones ambiente y, en un periodo menor que aproximadamente 1 minuto, crear una solución de fase única del fluido de agente de soplado en el polímero. El fluido de agente de soplado está presente en la solución en una cantidad de al menos aproximadamente el 2,5% en peso basándose en el peso de la solución en esta disposición. En algunas realizaciones, el régimen de flujo del material polímero fluido es desde aproximadamente 2,7 hasta aproximadamente 5,4 kg por hora. En estas disposiciones, se añade el fluido de agente de soplado y una solución de fase única formada en un minuto con agente de soplado presente en la solución en una cantidad de al menos aproximadamente el 3% en peso, más preferiblemente al menos aproximadamente el 5% en peso, más preferiblemente al menos aproximadamente el 7%, y más preferiblemente aún al menos aproximadamente el 10% (aunque, como se ha mencionado, en otro conjunto de realizaciones preferidas, se usan niveles inferiores de agente de soplado). En estas disposiciones, al menos 1,1 kg por hora de agente de soplado, preferiblemente CO₂, se introduce en la corriente de fluido y se mezcla en ella para formar una solución de fase única. El régimen de introducción de agente de soplado se iguala con el régimen de flujo de polímero para conseguir la concentración óptima de agente de soplado.

El elemento de restricción 35 está situado aguas arriba de la lumbrera 54 y, así, aguas arriba de una sección 62 de recepción de agente de soplado, y típicamente aguas abajo de una sección de medición 63 del tornillo 38. El elemento de restricción es un ejemplo de una disposición en la que la extrusora está construida y dispuesta para mantener una solución de polímero y agente de soplado dentro de un espacio de tratamiento de polímeros entre la entrada de agente de soplado y la salida de la extrusora (matriz, entrada en un molde, u otra salida) a una presión relativamente alta a través de un ciclo de inyección o de

expulsión. Los expertos ordinarios en la técnica entienden el significado estructural de una extrusora que está construida y dispuesta para mantener una presión de este modo, y se proporcionan ejemplos en esta memoria que no están destinados a limitar el alcance de la invención. El elemento de restricción 35 puede tener cualquiera de una variedad de formas conocidas en la técnica para restringir el flujo aguas arriba de material polímero, tal como un blíster, un dique de contención a través de la sección de alimentación del tornillo, un tramo de tornillo inverso o una válvula. En realizaciones preferidas, como las ilustradas en las figuras 1-4, el elemento de restricción 35 es una válvula de retención anular.

La válvula de retención anular incluye un anillo que se extiende alrededor del diámetro de una pequeña sección del tornillo y es lateralmente desplazable entre una primera posición, permitiendo el flujo de material a su través, y una segunda posición, impidiendo el flujo de material a su través. El diámetro exterior del anillo está dimensionado para impedir sustancialmente el flujo de plástico entre el anillo y el cilindro, al tiempo que permite todavía que el anillo se mueva lateralmente. En la primera posición, como se ilustra en la figura 2, un resalte interno 76 del anillo 72 contacta una superficie de bloqueo 78 que se extiende desde el cuerpo del tornillo 38. El anillo 72 está desaplicado de una superficie de sellado 74 del tornillo para proporcionar un espacio entre ellos a través del que puede circular material polímero en una dirección aguas abajo siguiendo la trayectoria 80. En esta posición, el material polímero circula a través de un conducto de paso interno 82 en el anillo para pasar aguas abajo del elemento de restricción. En la segunda posición, como se ilustra en la figura 4, el anillo 72 está desplazado en una dirección aguas arriba y está aplicado con la superficie de sellado 74 del tornillo para proporcionar una restricción al flujo aguas arriba de material polímero. En algunas realizaciones preferidas, la aplicación entre el anillo y la superficie de sellado impide sustancialmente el flujo aguas arriba de material polímero entre ellos. En otros casos, el anillo y la superficie de sellado están contruidos para permitir una pequeña cantidad de flujo aguas arriba, cuando están aplicados (por ejemplo, a través de canales entre el anillo y la superficie de sellado que existen cuando el anillo está en la segunda posición). La superficie de sellado y la superficie del anillo se pueden estrechar gradualmente, como se ilustra, para proporcionar un sellado hermético particularmente cuando se desea la prevención de flujo aguas arriba.

La posición relativa del anillo depende de las fuerzas que actúan sobre él. En particular, la posición del anillo depende de la diferencia en presión del material polímero aguas arriba del anillo y la presión del material polímero aguas abajo del anillo. En realizaciones preferidas, el anillo está diseñado para estar en la primera posición cuando la presión aguas arriba es mayor que la presión aguas abajo y para moverse hasta la segunda posición cuando la presión aguas abajo es mayor que la presión aguas arriba. En funcionamiento típico, al principio del ciclo de inyección o del ciclo de expulsión, el anillo está generalmente desaplicado de la superficie de sellado (Fig. 2), puesto que la presión del plástico fundido aguas arriba del anillo es mayor que la presión aguas abajo, permitiendo así que el material polímero sea transportado en una dirección aguas abajo hasta más allá del elemento de

restricción y acumularse en la región 50. Cuando se ha acumulado una carga suficiente de solución de polímero y agente de soplado en la región 50, el tornillo se mueve en una dirección aguas abajo desde la posición de acumulación (Fig. 1) hasta una posición de inyección o de expulsión (Fig. 3), para inyectar el material acumulado a través de una trayectoria de nucleación 67, como se describe más abajo, y en el molde 37. El movimiento aguas abajo del tornillo comprime la carga acumulada, elevando por ello su presión. Esto crea una condición de alta presión en el lado aguas abajo del anillo con relación al lado aguas arriba, lo que hace que el anillo se mueva hasta la segunda posición para aplicarse a la superficie de sellado (Fig. 4), restringiendo por ello el flujo de material polímero y manteniendo la presión aguas abajo del elemento de restricción. Típicamente, el anillo se mantiene en la segunda posición hasta que la presión aguas arriba del elemento de restricción excede la presión aguas abajo, punto en el que el anillo vuelve a la primera posición.

El elemento de restricción mantiene la presión de la solución de polímero y agente de soplado aguas abajo del elemento de restricción por encima de una presión mínima por todo el ciclo. En muchos casos, el elemento de restricción mantiene una presión aguas abajo del elemento de restricción por todo el ciclo, de al menos 7 MPa, en algunos casos de al menos 14 MPa, y en algunos casos de al menos 21 MPa. En realizaciones preferidas, la presión aguas abajo del elemento de restricción por todo el ciclo se mantiene mayor que la presión crítica requerida para una solución de fase única de material polímero y agente de soplado para un conjunto dado de condiciones de funcionamiento. La presión crítica depende del porcentaje en peso de agente de soplado disuelto en el material polímero y de otras condiciones de funcionamiento tales como la temperatura. Manteniendo la solución de fase única de polímero y agente de soplado a una presión por encima de la presión crítica, el elemento de restricción asegura que el agente de soplado no se saldrá prematuramente de la solución hacia dentro de la extrusora, antes de la operación de nucleación, debido a una caída de presión que resulta del flujo aguas arriba de material polímero durante la inyección o la expulsión. Puesto que los sistemas para tratar espuma microcelular requieren el mantenimiento de una solución de fase única antes de la operación de nucleación, el elemento de restricción, así, es particularmente ventajoso en tales sistemas. Típicamente, si el agente de soplado y el material polímero no son una solución de fase única antes de la nucleación, no se pueden formar materiales microcelulares.

En algunas realizaciones preferidas que utilizan una válvula de retención anular, existe un periodo de tiempo no insignificante mientras el anillo se mueve desde la primera posición hasta la segunda posición. Durante este periodo de tiempo, la válvula de retención anular permite flujo limitado aguas arriba de material polímero a su través antes de aplicarse con la superficie de sellado, lo que puede ser ventajoso para bajar la condición de alta presión aguas abajo del elemento de restricción. Este flujo aguas arriba limitado impide una condición de alta presión insegura (por ejemplo, una condición de presión mayor que las presiones de funcionamiento de la extrusora) que podría resultar si el elemento de restricción eliminara todo flujo aguas arriba del material polímero hasta más

allá del elemento. La cantidad de alivio de presión depende de la extensión de este periodo de tiempo, que es una función de la viscosidad del polímero fundido, del diseño del anillo y de la velocidad de inyección, y puede ser ajustada apropiadamente por los expertos ordinarios en la técnica.

En muchas realizaciones de moldeo por inyección, la solución de fase única de material polímero y agente de soplado se nuclean inyectando la solución a través de una trayectoria de nucleación 67 con caída de presión que conecta para circulación de fluido la región de acumulación con el molde. Típicamente, el sistema incluye una válvula que controla el flujo de material a través de la trayectoria de nucleación y funciona en unión con el ciclo de inyección. Tal como se usa en la presente memoria, "trayectoria de nucleación" en el contexto de rápida caída de presión se supone que define una trayectoria que forma parte del aparato de extrusión de espuma polímera microcelular y en el que, bajo las condiciones en las que el aparato está diseñado para funcionar -típicamente, a presiones de desde aproximadamente 10,5 hasta aproximadamente 210 MPa aguas arriba del nucleador y a caudales mayores que aproximadamente 2,25 kg de material polímero por hora-, la presión de una solución de fase única de material polímero mezclado con agentes de soplado en el sistema cae por debajo de la presión de saturación para la concentración particular de agente de soplado a un régimen o regímenes que facilitan la nucleación. La trayectoria de nucleación 67 incluye un extremo 69 de entrada para recibir una solución de fase única de precursor de material polímero y agente de soplado como una corriente polímera de fluido, y un extremo 70 de liberación de polímeros nucleados para entregar material polímero nucleado a la cámara de moldeo o molde, 37. El nucleador 66 puede estar situado en una variedad de situaciones aguas abajo de la región 50 y aguas arriba del molde 37. En una realización preferida, el nucleador 66 está situado en comunicación directa de fluido con el molde 37, de manera que el nucleador define una boquilla que conecta la extrusora con la cámara de moldeo y el extremo 70 de liberación de polímeros nucleados define un orificio de la cámara de moldeo 37. Aunque no ilustrada, otra realización del nucleador 66 incluye una trayectoria de nucleación 67 construida y dispuesta para tener una dimensión en corte transversal variable, es decir, una trayectoria que se puede ajustar en sección transversal. Una trayectoria de nucleación de sección transversal variable permite que el régimen de caída de presión en una corriente de fluido de material polímero que pasa a su través se varíe a fin de conseguir una densidad deseada de nucleación.

En una realización, se usa una trayectoria de nucleación que cambia en dimensión en corte transversal a lo largo de su longitud. En particular, una trayectoria de nucleación que disminuye en dimensión en corte transversal en una dirección aguas abajo puede aumentar significativamente el régimen de caída de presión, permitiendo por ello la formación de material microcelular de densidad de celdas muy alta usando niveles relativamente bajos de agente de soplado. Estos y otros nucleadores ilustrativos y preferidos se describen en la solicitud internacional de patente con número de serie PCT/US97/15088 en tramitación junto con la presente, titulada "Method and Apparatus for Microcellular Polymer Extrusion" ("Método y aparato de extrusión de espuma polímera microcelular"),

de Anderson *et al.*, a la que se ha hecho referencia anteriormente.

Aunque la trayectoria 67 define una trayectoria de nucleación, algo de nucleación puede tener lugar, también, en el propio molde a medida que la presión sobre el material polímero cae a un régimen relativamente alto durante el llenado del molde. En otra realización, descrita también en la solicitud internacional de patente con número de serie PCT/US97/27118 en tramitación junto con la presente y de titularidad común, la nucleación de la solución de fase única de material polímero y agente de soplado no ocurre a través de la trayectoria que conecta la salida de la extrusora con la entrada del molde. En estas realizaciones, la solución de fase única se inyecta en el molde y se mantiene como una solución de fase única hasta que se agrieta el molde, es decir, se abre. Este procedimiento "de agrietamiento" reduce la presión en el molde, nucleando por ello la celda.

El sistema representado en las figuras 1-4, ilustra el funcionamiento del elemento de restricción en unión con un tornillo de vaivén en un sistema de moldeo por inyección. Se debe entender que este y otros sistemas, descritos en esta memoria, se pueden modificar, como es bien conocido en la técnica, para que funcionen como otros sistemas de tratamiento de polímeros que incluyen tornillos de vaivén. Por ejemplo, un sistema de moldeo por soplado que tiene una región de acumulación dentro del cilindro y un tornillo de vaivén que utiliza el elemento de restricción incluido, en el que tiene lugar acumulación y expulsión cíclicas de la matriz. Generalmente, los sistemas de moldeo por soplado emplean matrices de formación mediante moldeo por soplado que están conectadas para circulación de fluido con el espacio de tratamiento de polímeros y que tienen una salida diseñada para liberar un parísón de material precursor de espuma polímera hasta un molde de soplado que forma el artículo de espuma moldeado por soplado. Se describen sistemas de moldeo por soplado preferidos en la solicitud de patente de EE.UU. número de serie 09/241.352 en tramitación junto con la presente, presentada el 2 de febrero de 1999. Haciendo referencia a la figura 5, en otra realización de la invención, el elemento de restricción 35 se usa en un sistema 21 que incluye un acumulador 81 externo a la extrusora 30. Una salida 51 de la extrusora entrega una solución de material polímero y agente de soplado a través de una canalización 53 hasta la entrada 79 del acumulador. Una válvula de retención 85 de bola está situada cerca de la entrada 79 del acumulador para regular el flujo de material en el acumulador y para impedir flujo de retorno del material acumulado durante la inyección (o expulsión, donde se lleva a cabo el moldeo por soplado). El acumulador 81 incluye un núcleo móvil 83 construido y dispuesto para moverse en vaivén axialmente durante el ciclo de inyección dentro de una carcasa 86 por la acción de un cilindro de inyección controlado hidráulicamente (no mostrado). El acumulador está conectado para circulación de fluido con la entrada 69 de la trayectoria de nucleación a través de la que se inyecta la solución en el molde de inyección 37.

En funcionamiento, siguiendo la inyección de material polímero en un molde, el núcleo móvil es situado en una posición de inyección (Fig. 5). El tornillo 38 rota para transportar material polímero en una dirección aguas abajo y, como se ha descrito anteriormente,

un agente de soplado se introduce en el material polímero para formar una solución de agente de soplado y polímero. La extrusora proporciona la solución de polímero y agente de soplado, que es típicamente una solución de fase única, al acumulador. La carga de acumulación fuerza al núcleo móvil en una dirección aguas arriba hasta una posición de acumulación (Fig. 6). Después de que se ha acumulado una carga suficiente, el tornillo 38 deja de rotar, es decir, el tornillo está en reposo. El núcleo móvil 83 se mueve entonces en una dirección aguas abajo desde la posición de acumulación hasta la posición de inyección para inyectar la carga en el molde, completando, así, el ciclo de inyección.

Durante el periodo en reposo del tornillo, el elemento de restricción 35 restringe el flujo de retorno de material polímero y, así, se mantiene la presión aguas abajo del elemento de restricción por encima de un valor mínimo. En sistemas típicos que no incluyen el elemento de restricción, la presión en el cilindro cae significativamente cuando el tornillo está en reposo y, en muchos casos, por debajo de la requerida para el mantenimiento de una solución de fase única de material polímero y agente de soplado. El elemento de restricción 35 puede ser cualquiera de los tipos anteriormente descritos. Preferiblemente, en sistemas que tienen un acumulador separado, el elemento de restricción es una válvula de retención anular cargada por resorte, como la ilustrada en las figuras 7 y 8.

Haciendo referencia a las figuras 7 y 8, la válvula de retención cargada por resorte incluye un elemento 88 de resorte dispuesto entre una superficie de retención 90 que se extiende desde el tornillo y una superficie interna 92 del anillo. El material polímero, cuando es transportado por el tornillo rotatorio, empuja en

una dirección aguas abajo sobre el anillo 72 con suficiente fuerza como para comprimir el elemento 88 de resorte, creando por ello un espacio entre la superficie de sellado 74 y el anillo, a través del que circula material polímero siguiendo la trayectoria 94 (Fig. 7). Como se ha descrito anteriormente, el anillo incluye un conducto de paso interno 82 para permitir el flujo de material polímero al lado aguas abajo del elemento de restricción. Cuando el tornillo está en reposo, ya no se transporta material polímero en una dirección aguas abajo y, así, no se proporciona una fuerza aguas abajo sobre el elemento de resorte. El elemento de resorte se extiende al anillo 72 de fuerza en una dirección aguas arriba para aplicarse con la superficie de sellado 74 (Fig. 8). Como se ha descrito anteriormente, la aplicación entre el anillo y la superficie de sellado restringe el flujo aguas arriba de material polímero y mantiene por ello la presión aguas abajo del elemento de restricción por encima de un valor mínimo.

El sistema representado en las figuras 5-8 ilustra el funcionamiento del elemento de restricción en unión con un acumulador externo en un sistema de moldeo por inyección. Se debe entender que el sistema se puede modificar, como es bien conocido en la técnica, para que funcione como otros sistemas de tratamiento de polímeros que incluyen un acumulador externo al tornillo. En particular, se prevén sistemas de moldeo por soplado.

Se debe entender que aunque se ha descrito la invención en unión con su descripción detallada, la descripción anterior está destinada a ilustrar y no a limitar el alcance de la invención, que está definida por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para tratar material polímero a fin de realizar espuma microcelular, con un tamaño promedio de celda $<100\ \mu\text{m}$ y/o una densidad de celda $>10^6$ celdas/cm³, que se puede hacer funcionar para inyectar cíclicamente material polímero en un molde, comprendiendo el sistema:

un cilindro (32) que tiene una dirección aguas arriba y una dirección aguas abajo;

un tornillo (38) de tratamiento de polímeros construido y dispuesto para rotar dentro del cilindro a fin de transportar material polímero en una dirección aguas abajo dentro de un espacio (34) de tratamiento de polímeros definido por el cilindro y el tornillo, hasta una región de acumulación (50) aguas abajo del tornillo;

una lumbrera (54) de agente de soplado que conecta con el espacio de tratamiento de polímeros y situada para introducir un agente de soplado en el material polímero en el espacio de tratamiento de polímeros para permitir la formación en el mismo de una solución de fase única de polímero y agente de soplado;

una cavidad de molde conectada para circulación de fluido con el espacio de tratamiento de polímeros;

una trayectoria de nucleación (67) de caída de presión, aguas abajo de la región de acumulación y aguas arriba de la cavidad de molde, en el que dicha solución de fase única de polímero y agente de soplado experimenta una caída de presión durante la inyección de la solución de fase única a través de la trayectoria de nucleación en la cavidad de molde, a un régimen que facilita dicha nucleación; y

un elemento de restricción (35) situado dentro del espacio de tratamiento de polímeros aguas arriba de la lumbrera de agente de soplado, que restringe el flujo aguas arriba de material polímero a su través durante al menos una parte de un ciclo de inyección, para mantener por ello la solución en fase única y para impedir por ello la nucleación prematura de dichas celdas aguas arriba de dicha trayectoria de nucleación.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el tornillo de tratamiento de polímeros está dispuesto para moverse en vaivén entre una posición de acumulación y una posición de inyección durante el ciclo de inyección o el ciclo de expulsión.

3. El sistema de la reivindicación 1, en el que la región de acumulación comprende un acumulador (81) conectado para circulación de fluido con el espacio de tratamiento de polímeros y diseñado para recibir y acumular una carga de la solución de material polímero y agente de soplado, incluyendo el acumulador un núcleo móvil (83) construido y dispuesto para moverse en vaivén entre una posición de acumulación y una posición de inyección durante el ciclo de inyección.

4. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento de restricción está construido y dispuesto para restringir el flujo aguas arriba de material polímero a su través cuando la presión del material polímero aguas abajo del elemento de restricción excede la presión del material polímero aguas arriba del elemento de restricción.

5. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento de restricción está construido y dispuesto para impedir sustancialmente el flujo aguas arriba de material polímero durante al menos una parte del ciclo de inyección.

6. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento de restricción comprende una válvula construida y dispuesta para permitir flujo aguas abajo de material polímero a su través en una primera posición y para restringir flujo aguas arriba de material polímero a su través en una segunda posición.

7. El sistema de la reivindicación 6, en el que la válvula está construida y dispuesta para moverse desde la primera posición hasta la segunda posición cuando la presión del material polímero aguas abajo de la válvula excede la presión del material polímero aguas arriba de la válvula.

8. El sistema de la reivindicación 6, en el que la válvula incluye un elemento (88) de resorte, estando cargado el mismo para empujar la válvula desde la primera posición hasta la segunda posición.

9. El sistema de la reivindicación 6, en el que la válvula está construida y dispuesta para impedir sustancialmente flujo aguas arriba de material polímero a su través en la segunda posición.

10. El sistema de la reivindicación 6, en el que la válvula está construida y dispuesta para permitir flujo aguas arriba limitado de material polímero a su través durante un periodo de tiempo en el que la válvula se mueve desde la primera posición hasta la segunda posición.

11. El sistema de la reivindicación 6, en el que el tornillo de tratamiento de polímeros se mueve en vaivén entre una posición de acumulación y una posición de inyección, y la válvula está en la segunda posición durante al menos una parte del tiempo en el que el tornillo de tratamiento de polímeros está en la posición de inyección.

12. El sistema de la reivindicación 6, en el que la válvula está en la segunda posición durante al menos una parte del tiempo en el que el tornillo de tratamiento de polímeros está en reposo.

13. El sistema de la reivindicación 6, en el que la válvula es una válvula de retención anular.

14. El sistema de la reivindicación 13, en el que la válvula de retención anular comprende una superficie de sellado (74) y un anillo (72), siendo desplazable el anillo entre una primera posición de desaplicación con la superficie de sellado, permitiendo por ello que material polímero circule a su través, y una segunda posición de aplicación con la superficie de sellado, impidiendo por ello el flujo aguas arriba de material polímero a su través.

15. El sistema de la reivindicación 14, en el que la superficie de sellado comprende al menos una porción del tornillo de tratamiento de polímeros.

16. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento de restricción está construido y dispuesto aguas abajo de una sección de medición (63) del tornillo de tratamiento de polímeros.

17. Un método para realizar espuma microcelular con un tamaño promedio de celda $<100\ \mu\text{m}$ y/o una densidad de celda $>10^6$ celdas/cm³, mediante un tratamiento de material polímero, que comprende:

transportar material polímero en una dirección aguas abajo dentro de un espacio (34) de tratamiento de polímeros entre un tornillo (38) de tratamiento de polímeros y un cilindro (32);

introducir un agente de soplado en el material polímero, en el espacio de tratamiento de polímeros, a través de una lumbrera (54) de agente de soplado y formar en el mismo una solución de fase única de polímero y agente de soplado;

acumular la solución de fase única en una región de acumulación (50) aguas abajo del tornillo;

nuclear dichas celdas aguas abajo de la región de acumulación, mediante una caída de presión experimentada por la solución de fase única, al tiempo que se inyecta la solución de fase única a través de una trayectoria de nucleación (67) de caída de presión en una cavidad de molde; y

restringir el flujo aguas arriba de material polímero, en una situación aguas arriba de la lumbrera de agente de soplado, durante al menos una parte de un ciclo de inyección, para mantener la solución en fase única y para impedir por ello la nucleación de dichas celdas aguas arriba de dicha trayectoria de nucleación; y

formar, en la cavidad de molde, un moldeo de espuma microcelular, con un tamaño promedio de celda $<100\ \mu\text{m}$ y/o una densidad de celda $>10^6$ celdas/cm³.

18. El método de la reivindicación 17, que comprende además mantener el material polímero aguas abajo de la situación a una presión de al menos 7 MPa por todo el ciclo de inyección.

19. El método de la reivindicación 17, que comprende además mantener el material polímero aguas abajo de la situación a una presión de al menos 14 MPa por todo el ciclo de inyección.

20. El método de la reivindicación 17, que comprende además mantener el material polímero aguas abajo de la situación a una presión de al menos 21 MPa por todo el ciclo de inyección.

21. El método de la reivindicación 17, que comprende además mantener una presión de al menos la presión crítica requerida para el mantenimiento de la solución de fase única de material polímero y agente de soplado aguas abajo de la situación por todo el ciclo de inyección.

22. El método de la reivindicación 17, que comprende formar un artículo que incluye agente de soplado químico residual, o subproducto de reacción de agente de soplado químico, en una cantidad menor que la intrínsecamente encontrada en artículos sopladados con el 0,1% en peso, o más, de agente de soplado químico.

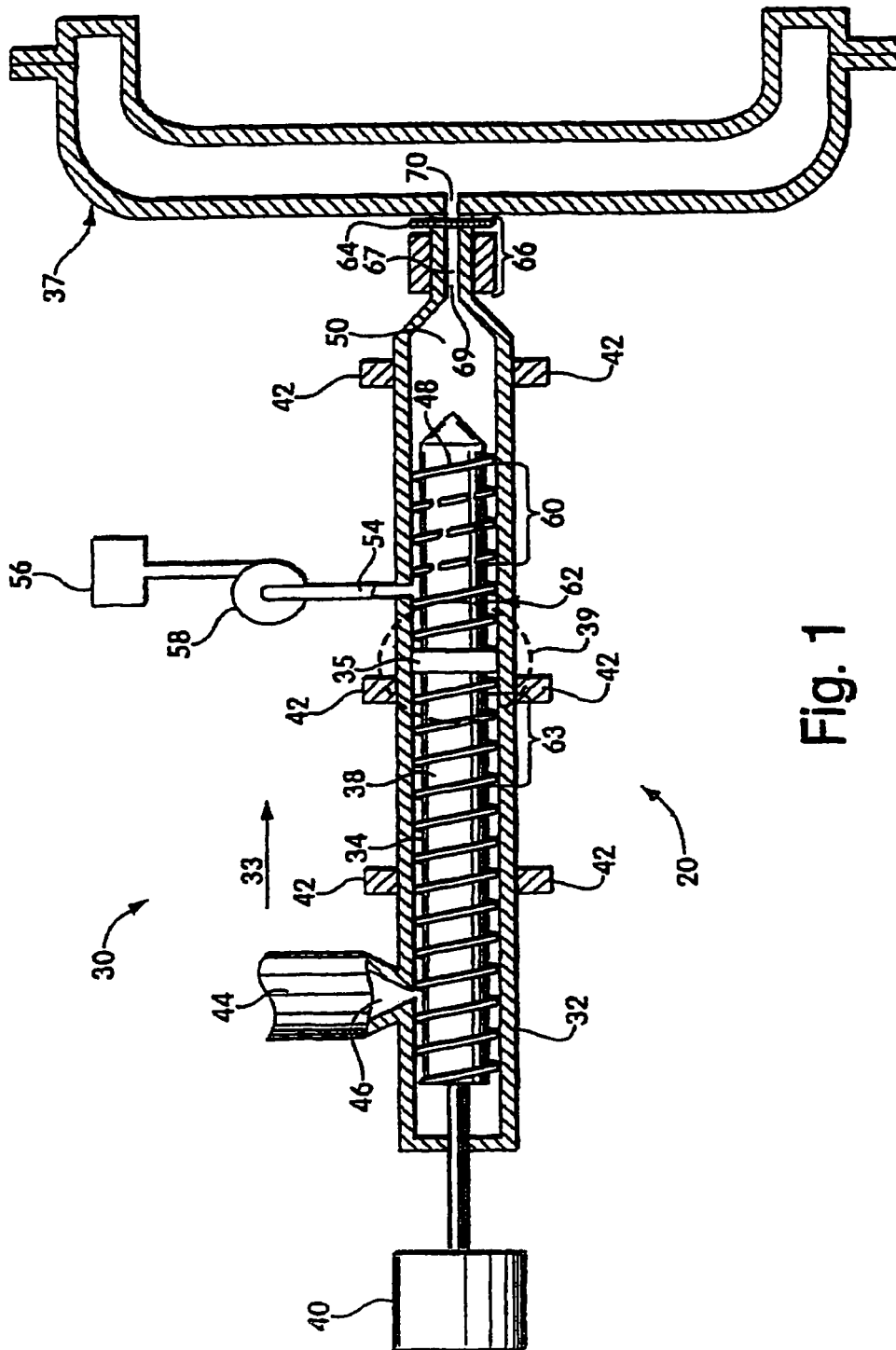


Fig. 1

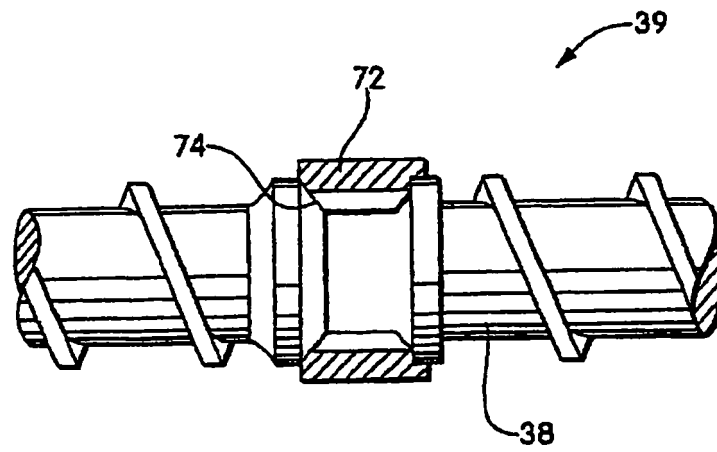


Fig. 1A

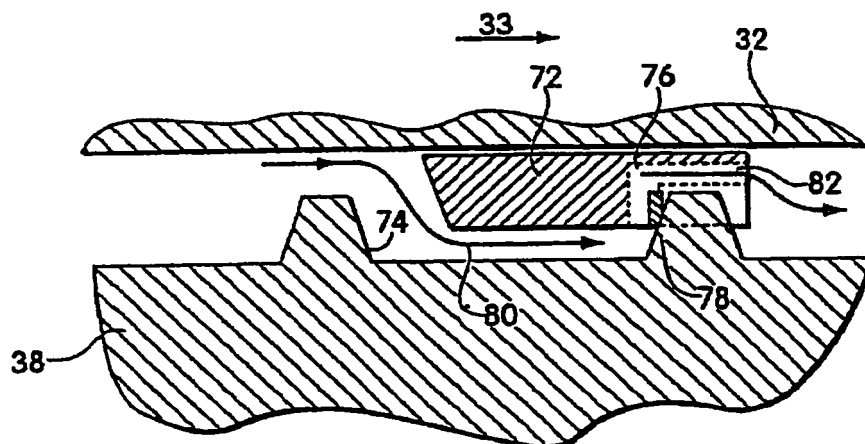


Fig. 2

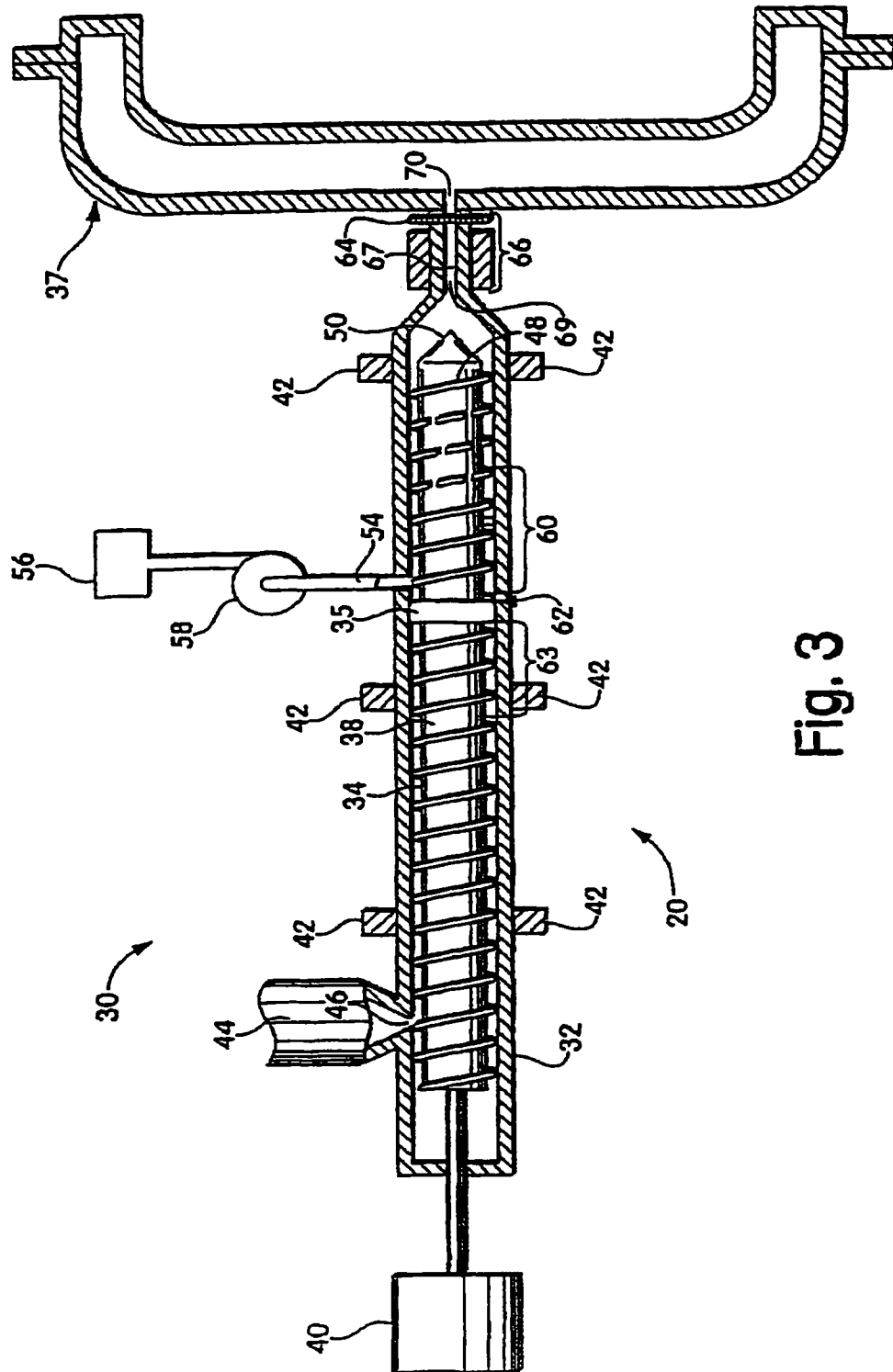


Fig. 3

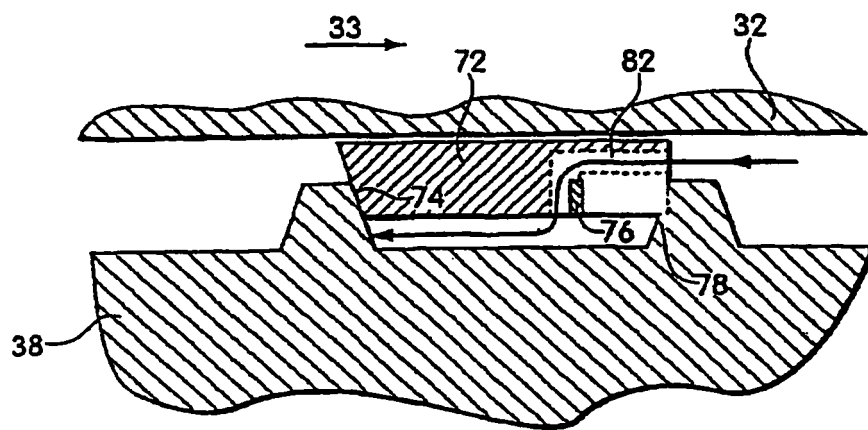


Fig. 4

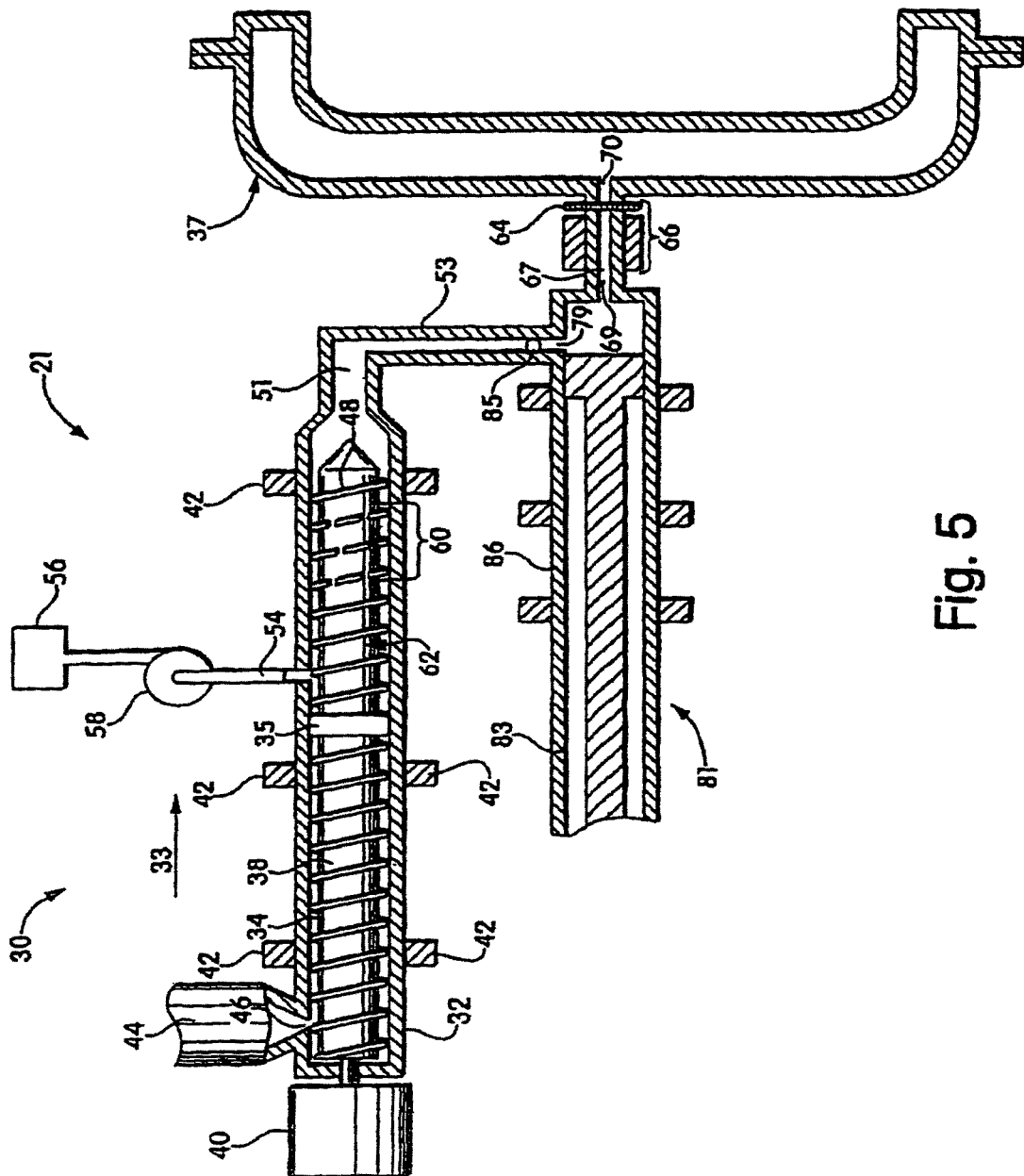


Fig. 5

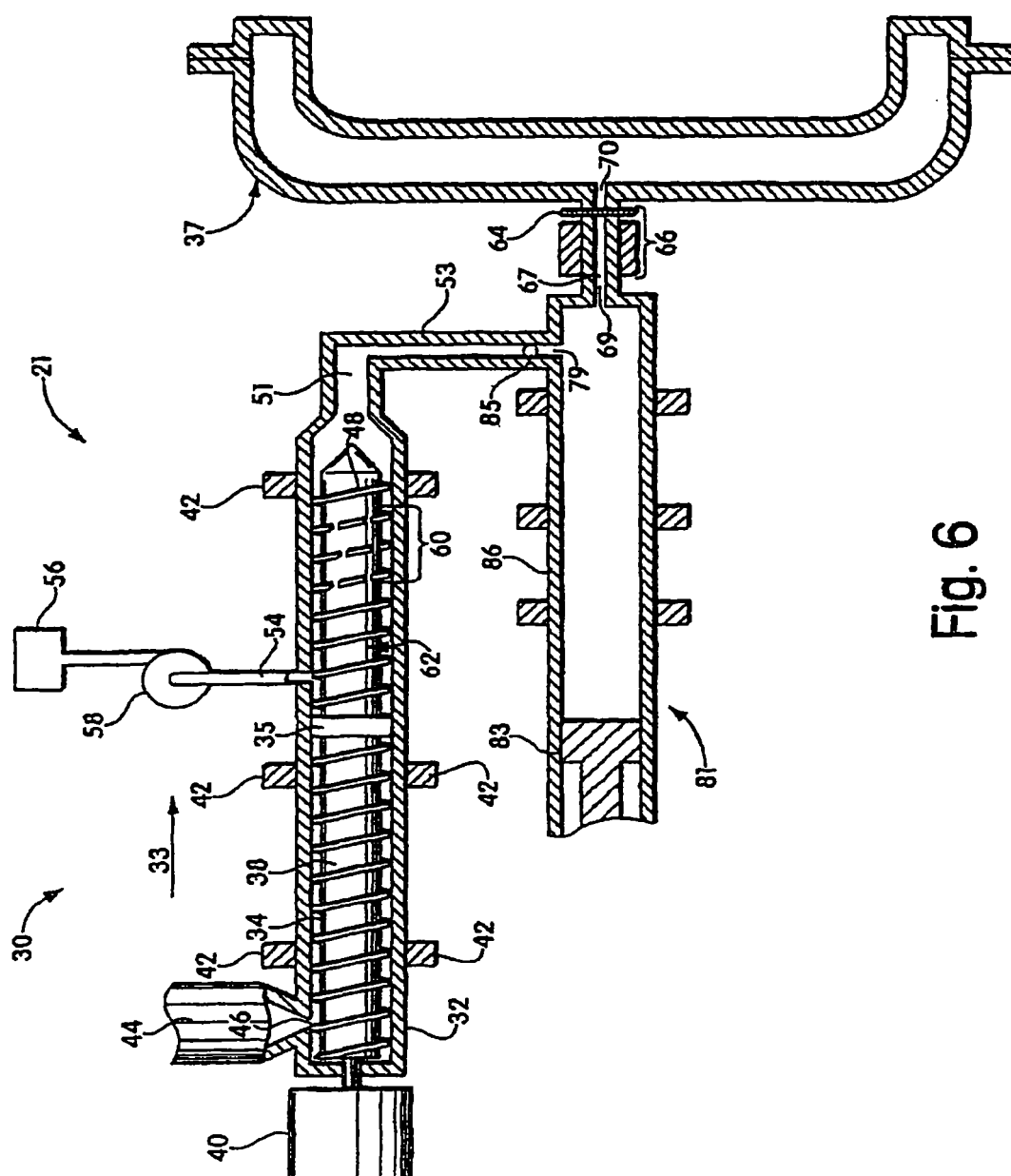


Fig. 6

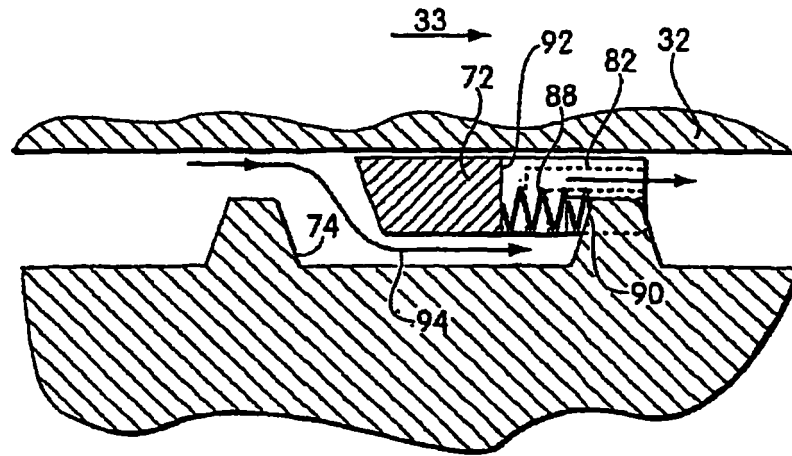


Fig. 7

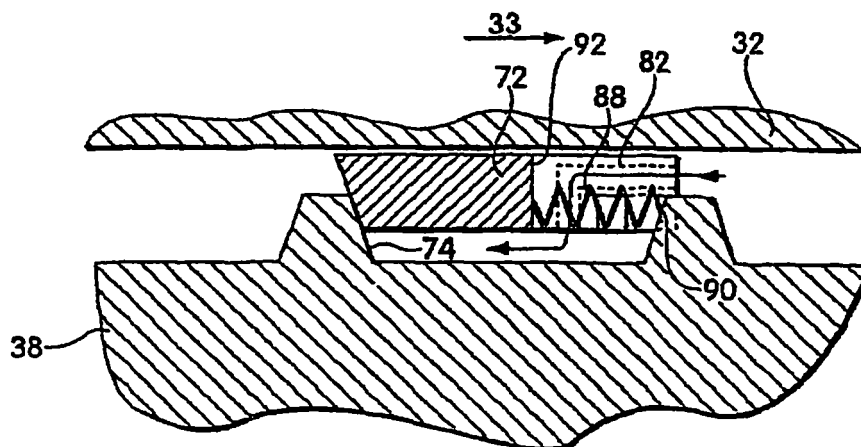


Fig. 8