

TEMA 8. SOPLADO DE TERMOPLÁSTICOS

1. INTRODUCCIÓN	287
1.1. Técnicas de soplado	288
2. PROCESO DE EXTRUSIÓN-SOPLADO	289
2.1. Obtención del precursor	289
2.2. El perno de soplado	292
2.3. Molde de soplado	294
2.4. Tipos de extrusión-soplado	295
2.4.1. Extrusión-soplado continua	295
2.4.2. Extrusión intermitente	299
3. PROCESO DE INYECCIÓN-SOPLADO	301
4. MOLDEO POR TENSIONADO-SOPLADO (STRETCH BLOW MOLDING)	304
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	309

Resumen

En este tema se estudian los principios básicos del proceso de soplado, la obtención del precursor, las principales características del perno y del aire de soplado, así como del molde de soplado. A continuación se abordan las principales técnicas de soplado; extrusión-soplado, inyección-soplado, y tensionado-soplado, las principales ventajas y desventajas de cada técnica respecto a las otras, así como las características de las piezas obtenidas.

1. INTRODUCCIÓN

El soplado de materiales termoplásticos comenzó durante la Segunda Guerra Mundial. El PS fue el primer material que se usó en el desarrollo de las primeras máquinas de soplado, y el LDPE el que se empleó en la primera aplicación comercial de gran volumen (un bote de desodorante). La introducción del HDPE y la disponibilidad comercial de las máquinas de soplado, condujo en los años 60 a un gran crecimiento industrial. Hoy en día es el tercer método más empleado en el procesado de plásticos. Durante muchos años se empleó casi exclusivamente para la producción de botellas y botes, sin embargo los últimos desarrollos en el proceso permiten la producción de piezas de geometría relativamente compleja e irregular, espesor de pared variable, dobles capas, materiales con alta resistencia química, etc., y todo ello a un coste razonable.

Básicamente el soplado está pensado para su uso en la fabricación de productos de plástico huecos; una de sus ventajas principales es su capacidad para producir formas huecas sin la necesidad de tener que unir dos o más partes moldeadas separadamente. Aunque hay diferencias considerables en los diferentes procesos de soplado, como se verá a continuación, todos tienen en común la producción de un precursor o preforma, su colocación en un molde hembra cerrado, y la acción de soplarlo con aire para expandir el plástico fundido contra la superficie del molde, creando así el producto final. Además es posible mejorar la eficiencia del proceso de enfriamiento y el tiempo de ciclo con el empleo de gases. También es frecuente la inserción de láminas impresas en el molde para obtener un producto totalmente terminado sin la necesidad de una etapa posterior de decorado o acabado.

Las diferencias entre las técnicas de soplado se encuentran en la forma de obtener el precursor (por extrusión o por inyección). Además en el soplado convencional el precursor se usa caliente, tal y conforme sale del extrusor o de la máquina de inyección, aunque también puede almacenarse frío, especialmente en el caso de inyección-soplado y recalentarse posteriormente. La manera en la que se traslada el precursor al molde de soplado también

puede ser diferente en los distintos procesos. A pesar de todo lo anterior, los pasos básicos del proceso son iguales:

1. Fundir el material
2. Obtener el precursor
3. Introducir el precursor hueco en el molde de soplado
4. Insuflar aire dentro del precursor que se encuentra en el molde
5. Enfriar la pieza moldeada
6. Retirar la pieza del molde

El proceso de soplado compite con el de moldeo rotacional pues las dos técnicas se emplean para fabricar piezas huecas. En principio mediante inyección y termoconformado podría obtenerse piezas de este tipo pero sería necesario unir o ensamblar diferentes partes de la pieza en una etapa posterior. Mediante moldeo rotacional se pueden obtener piezas más grande y de forma más compleja que mediante soplado. Sin embargo, el acabado superficial es más adecuado en soplado, y a pesar de que el proceso de soplado requiere la fabricación de la preforma, resulta más interesante que el moldeo rotacional en producciones grandes. Mediante soplado es posible producir piezas de espesor muy fino, que no podrían obtenerse mediante moldeo rotacional ni mediante inyección, aunque sí mediante termoconformado. Tanto en moldeo rotacional como en soplado convencional sólo se emplean dos mitades de un molde hembra, por lo que es posible variar con mucha facilidad el espesor de pared de las piezas, si bien en general es posible un mejor control de la distribución de espesores en soplado. En cualquier caso con estas técnicas no es posible alcanzar las tolerancias obtenidas mediante inyección. Por otra parte en soplado es posible emplear materiales con pesos moleculares muy elevados, lo que implica alta permeabilidad, resistencia UV y resistencia a la oxidación.

1.1. TÉCNICAS DE SOPLADO

Como se ha comentado, básicamente los precursores se pueden obtener mediante inyección y extrusión, y las técnicas de soplado se pueden agrupar en extrusión-soplado, inyección-soplado y tensionado-soplado. En ésta última

se obtienen piezas biorientadas y el precursor se fabrica por medio de alguna de las técnicas anteriores (extrusión-soplado o inyección-soplado).

Aproximadamente el 75% de las piezas sopladas se fabrican mediante extrusión-soplado y el 25% mediante inyección-soplado. Dentro de estas últimas el 75% son biorientadas (tensión-soplado). Mediante extrusión-soplado se pueden obtener velocidades de producción muy elevadas y los costes de producción son bajos, sin embargo se producen muchos recortes y el control del espesor de pared y de la distribución de espesores es muy limitado. Mediante inyección-soplado el control de espesor de las piezas es muy bueno y no se producen recortes, sin embargo sólo se puede emplear para piezas relativamente pequeñas y el coste de producción es mucho mayor. Mediante tensión-soplado se obtienen piezas de muy buena transparencia, buenas propiedades mecánicas y de barrera (impermeables a gases), si bien el proceso es más caro que los anteriores.

2. PROCESO DE EXTRUSIÓN-SOPLADO

Los equipos de extrusión-soplado constan de una extrusora con un sistema plastificador (cilindro-tornillo) de las mismas características que se estudiaron en temas previos, que deben permitir obtener un fundido uniforme a la velocidad adecuada. Se requiere además de un cabezal que proporcione un precursor (o parison) de forma tubular, con la sección transversal deseada. El equipo además consta de una unidad de soplado y un molde de soplado. A continuación se explican todas aquellas partes del equipo diferentes de las estudiadas en temas previos como son el cabezal de extrusión para la obtención del precursor, el perno de soplado y el molde de soplado.

2.1. OBTENCIÓN DEL PRECURSOR

La primera etapa para conseguir una pieza de las características finales adecuadas es la obtención del precursor. En la figura 8.1 se puede observar la vista frontal de una boquilla de una máquina de extrusión empleada en este tipo de procesos.

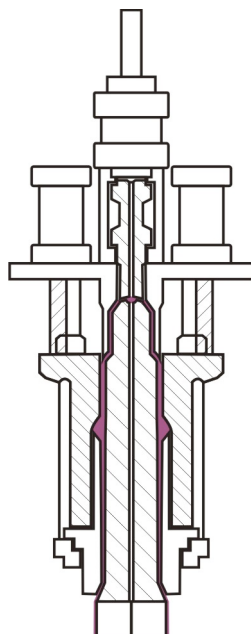


Figura 8.1. Vista frontal de un cabezal típico de extrusión empleado para la fabricación de preformas.

El espesor de pared del precursor dependerá del tamaño de la boquilla y del mandril de la máquina de extrusión, por lo que el diseño de estas partes de la máquina de extrusión debe ser muy preciso. En la mayoría de las extrusoras empleadas para la obtención de preformas para soplado, los extremos de la boquilla y del mandril central son regulables, de modo que se puede modificar el diámetro interno del precursor, y por tanto su espesor, lo que se conoce como programación del precursor (figuras 8.2 y 8.3). En este sistema el mandril se mueve con respecto a la boquilla, que permanece fija, de forma que se varía el espesor de pared del precursor durante cada ciclo, de este modo se puede obtener una distribución de espesor constante en la pared de los productos una vez moldeados al contener más material las partes de la pieza que se estirarán más durante el soplado (figura 8.3). En la actualidad las máquinas modernas de extrusión están preparadas para modificar el espesor de pared más de 100 veces en un mismo precursor.

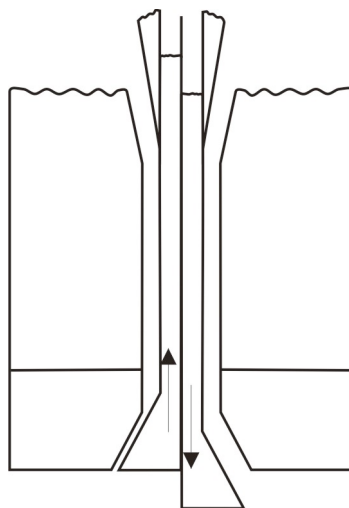


Figura 8.2. Programación del precursor.

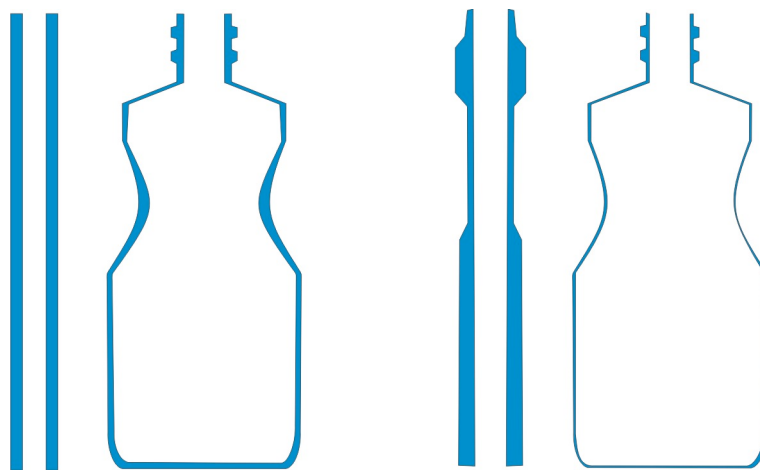


Figura 8.3. Distribución de espesores conseguida en una botella normal y una con precursor programado.

Existen otras posibilidades para modificar el espesor del precursor, y, por tanto de conseguir una distribución de espesores más uniforme de la pieza moldeada, como por ejemplo:

- variar la velocidad de extrusión
- variar la presión en la extrusora

- modificar el tamaño de la boquilla manteniendo constante el tamaño del mandril

El tipo de material es un factor que condicionará mucho la calidad del producto obtenido. Las resinas empleadas en extrusión-soplado deben tener una viscosidad alta en estado fundido y además el fundido debe desarrollar una resistencia elevada, de modo que la deformación que sufra el material cuando sale de la máquina de extrusión hasta que es soplado sea mínima. En caso contrario el hinchamiento que sufre el material cuando sale de la boquilla de extrusión, junto con la deformación causada por el efecto de la gravedad cuando el precursor queda colgando hacia abajo, provocarían un espesor muy grande en la parte inferior del precursor y deficiente en la parte superior, que en algunos casos podría ser compensada con una programación del precursor adecuada, pero que en la mayoría provocaría piezas de calidad deficiente. En general las resinas empleadas en extrusión-soplado deben tener un elevado peso molecular, lo que proporciona alta viscosidad y alta resistencia del fundido, así como alta resistencia al impacto. Otra característica importante de la resina es su extensibilidad que delimita la máxima relación de soplado que puede alcanzarse y si las esquinas y ángulos podrán moldearse de manera adecuada.

2.2. EL PERNO DE SOPLADO

En el moldeo por soplado, el aire se introduce a presión dentro del precursor, de modo que éste se expande contra las paredes del molde con tal presión que capta los pormenores de la superficie del molde. Por este motivo es muy importante controlar la entrada del aire, lo que se hace mediante un tamaño adecuado del orificio de entrada del aire ya que si el canal de entrada es demasiado pequeño, el tiempo de soplado requerido será excesivamente largo, o la presión ejercida sobre el precursor no será adecuada para reproducir los detalles de la superficie del molde. Para evitar esto, se han establecido unas reglas generales en la determinación del tamaño óptimo del orificio de entrada de aire, en función del tamaño de la pieza, como se muestra en la tabla 8.1:

Tabla 8.1. Dimensiones del perno de soplado en función del tamaño de la pieza

Diámetro del orificio (mm)	Capacidad de la pieza (L)
1.6	1
4	1-4
13	4-200

Normalmente, la presión del aire que se emplea para soplar los precursores está comprendida entre 250 y 1000 kg/cm². En ocasiones si se utiliza una presión de aire demasiado grande puede ocurrir que el precursor se agujeree, mientras que si la presión es demasiado baja el precursor no reproduce con exactitud la forma del molde. En general se puede decir que interesa una presión de aire de soplado elevada para que se pueda conseguir un tiempo de soplado mínimo (resultando velocidades de producción más elevadas) y piezas terminadas que reproduzcan fielmente la superficie del molde. Ahora bien, este aire de soplado puede provocar tensiones y enfriamiento en la zona del plástico sobre la que actúa.

Otro factor a tener en cuenta es la humedad del aire de soplado ya que ésta puede provocar marcas sobre la superficie interior del producto. Esta apariencia defectuosa es particularmente desagradable en artículos de paredes delgadas como los botes de leche. Para prevenir este problema se suele emplear aire seco.

Por último el perno de soplado debe tener la longitud adecuada. Si es demasiado largo puede ocurrir que el aire se “enfoque” contra una zona caliente del plástico determinada, provocando defectos en ésta zona.

Para producir cuellos de botella moldeadas por soplado de elevada calidad, se han desarrollado pernos que comprimen el material en esta zona del molde. En estos procesos, el perno de soplado se introduce dentro del precursor caliente, comprimiendo en exceso el plástico dentro del cuello, llenando el interior de los canales del molde, y formando una superficie lisa en su interior, tal como se muestra en la figura 8.4.

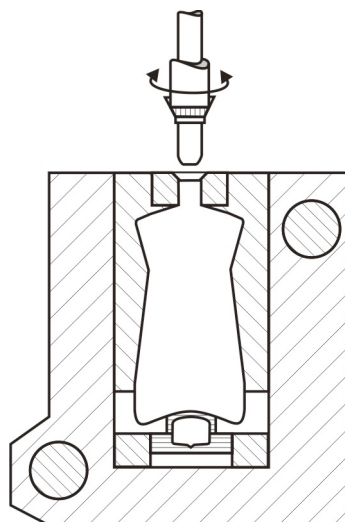


Figura 8.4. Molde de soplado y producción del cuello de las botellas mediante compresión del material por el perno de soplado.

2.3. MOLDE DE SOPLADO

Puesto que los moldes en soplado no tienen que soportar elevadas presiones la cantidad de materiales disponibles para su construcción es grande. Para piezas pequeñas se emplean moldes de aluminio, acero, aleaciones de cobre-berilio. Los moldes de aluminio presentan muy buena conductividad térmica, son fáciles de fabricar y pero su durabilidad no es muy elevada. En comparación los moldes de acero son más duraderos y rígidos, y los de Cu/Be son los que presentan mejor conductividad térmica. Los moldes de aluminio son los más empleados pues son los que presentan el mejor equilibrio entre conductividad térmica, duración y coste:

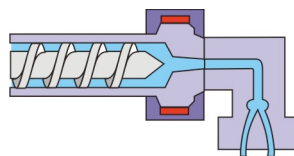
La mayoría de los moldes empleados en soplado no son capaces de proporcionar capacidad tan elevada de enfriamiento como los moldes empleados en inyección, lo que pasa por un diseño adecuado de los canales de refrigeración del molde. En soplado, al igual que ocurría en moldeo rotacional, la pieza se enfría solo por la superficie externa, aparte de la pequeña contribución al enfriamiento que realiza el aire de soplado, de modo

que el enfriamiento es bastante deficiente si se compara con el proceso de inyección.

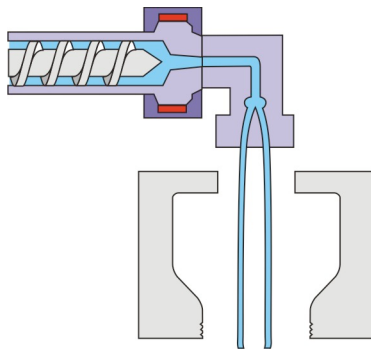
2.4. TIPOS DE EXTRUSIÓN-SOPLADO

2.4.1. *Extrusión-soplado continua*

En las máquinas de extrusión continua para soplado el precursor tubular fundido se produce sin interrupción. La secuencia de operaciones más habitual se muestra en la figura 8.5. Una vez que el precursor ha alcanzado la longitud necesaria el molde de soplado se sitúa alrededor del precursor, cerrándose en torno a él. Cuando esto ocurre el precursor se corta con una cuchilla o un alambre caliente. A continuación el molde portando el precursor se desplaza hacia la siguiente estación, dejando paso al siguiente precursor. El siguiente paso es la entrada del perno de soplado en el molde, la introducción del aire, generalmente frío en el interior de la pieza y el enfriamiento de la misma dentro del molde.



Extrusión de la preforma



Introducción de la preforma en el molde de soplado

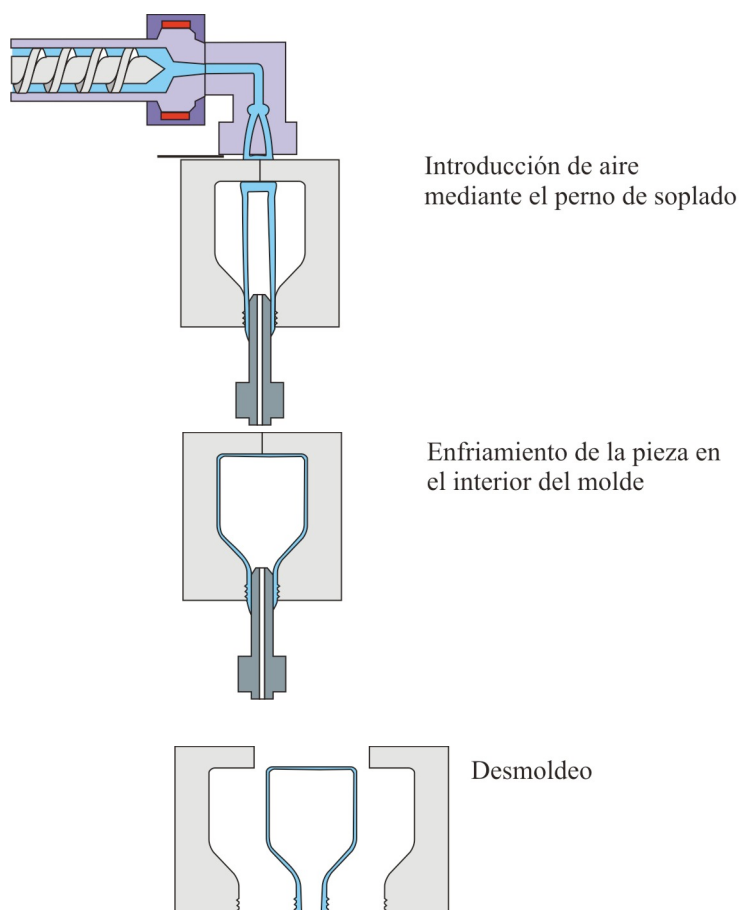
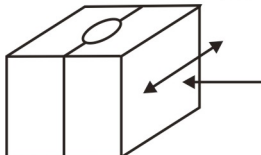


Figura 8.5. Proceso de extrusión continua.

Las diferencias entre los distintos tipos de máquinas se basan en la forma como los moldes de soplado o los precursores son transportados a las diferentes zonas del proceso. Otra diferencia es la forma como se insufla el aire dentro del molde. En las máquinas de tipo lanzadera, como la que se muestra en la figura 8.6 hay dos moldes que se desplazan alternativamente a derecha y a izquierda, de modo que mientras que en uno se introduce la preforma, el otro se encuentra en la etapa de soplado y enfriamiento.



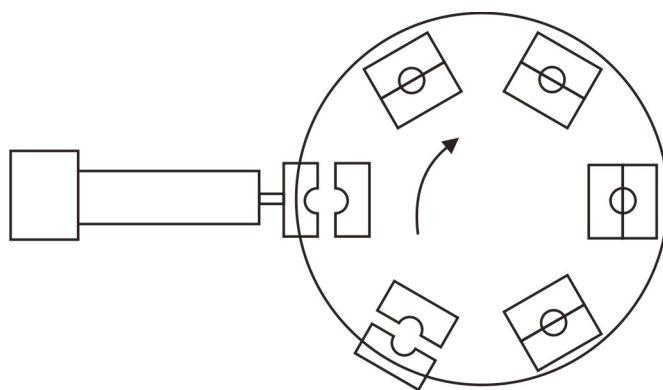


Figura 8.7. Máquina de extrusión-soplado continua tipo rotatorio.

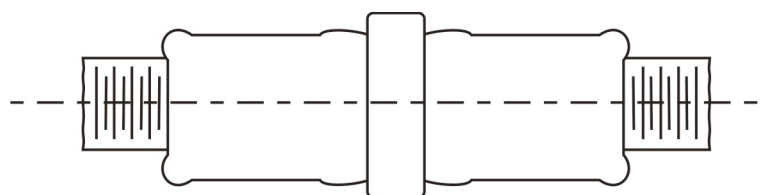


Figura 8.8. Soplado de dos piezas simultáneamente.

Otro método de extrusión continua emplea un mecanismo de transferencia para separar el precursor de la boquilla y colocarlo entre las mitades del molde de soplado. De esta forma los moldes no se desplazan, sino que es el precursor el que lo hace. En muchas máquinas de esta clase, el precursor se sitúa sobre el perno de soplado y los moldes se soplan desde abajo (figura 8.9).

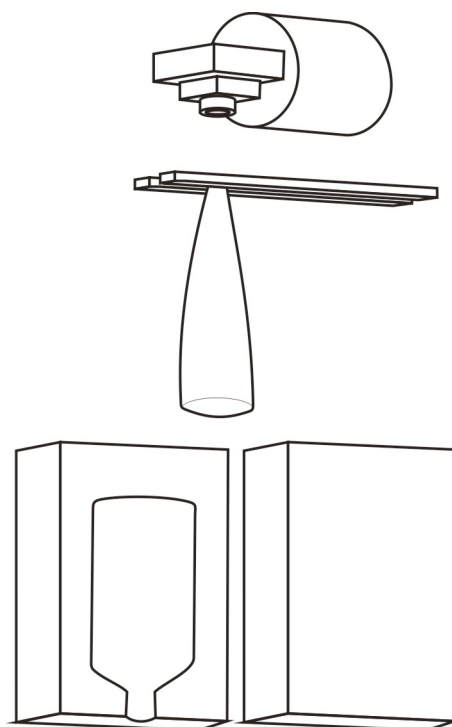


Figura 8.9. Método de transferencia del precursor.

2.4.2. Extrusión intermitente

Esta clase de equipo almacena el material fundido generado por la extrusora mientras la pieza moldeada está siendo soplada y enfriada. Cuando el molde está abierto, el fundido acumulado es forzado a través de la boquilla para fabricar el precursor (o precursores). La ventaja de la extrusión intermitente es que el fundido almacenado puede usarse para producir grandes precursores rápidamente. Esto es importante al emplear materiales en los que el fundido carece de resistencia y para fabricar artículos muy grandes tales como bidones de más de 200 litros de capacidad, tanques de combustible o envases industriales. La extrusión intermitente puede realizarse con el uso de un tornillo extrusor con retroceso, un pistón-acumulador o una boquilla acumuladora. En la figura 8.10 se muestra una máquina de tornillo con retroceso. Al rotar el tornillo el plástico fundido pasa hacia la parte anterior del mismo, y la presión que genera el plástico empuja al tornillo en la

dirección opuesta, de forma similar a como ocurre en las máquinas de inyección convencionales. Cuando se ha producido la cantidad necesaria de fundido, un cilindro hidráulico mueve el tornillo hacia adelante, forzando al plástico a salir fuera de la boquilla para formar el precursor.

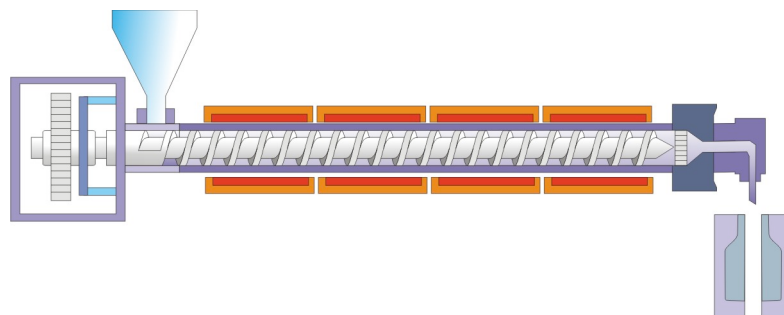


Figura 8.10. Máquina con tornillo con retroceso para soplado.

Cuando las piezas tienen un peso superior a 20 kg, se trabaja con máquinas de pistón acumulador (figura 8.11). Las aplicaciones típicas incluyen piezas industriales, envases para navegación y juguetes. El tamaño del extrusor es independiente del tamaño del acumulador, y en algunos casos se utiliza más de un extrusor para alimentar a un único acumulador. El diseño del acumulador debe ser tal que permita que el primer material que entra sea el primero en abandonar la cámara, en caso contrario el proceso no se puede aplicar para materiales muy sensibles a la temperatura.

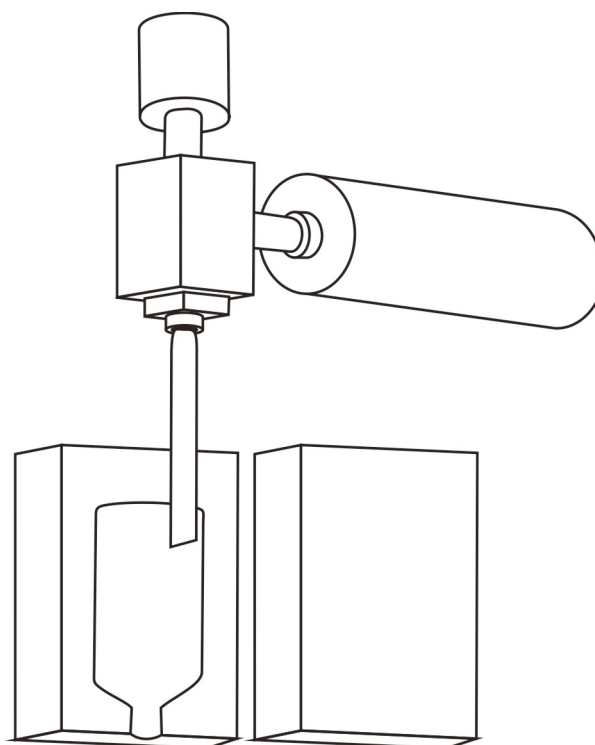


Figura 8.11. Máquina con sistema acumulador.

3. PROCESO DE INYECCIÓN-SOPLADO

En el proceso de moldeo por inyección-soplado, el precursor es inyectado en lugar de extruído. La cantidad exacta de precursor se inyecta sobre una barra central y todavía fundido se transfiere a la estación de soplado, donde se expande hasta su forma final y se enfría en el molde de soplado.

El método Gussoni es muy empleado por la industria y utiliza una mesa rotatoria horizontal (figura 8.12) alrededor de la cual se monta la parte positiva del molde del precursor (barra central). En la primera estación, la parte negativa del molde del precursor se cierra sobre la positiva, y los precursores son inyectados por una máquina de inyección convencional. El molde de inyección se abre y el precursor se traslada sobre la barra central

hasta la siguiente estación, donde el molde de soplado se cierra alrededor del precursor caliente, y se sopla a través de la abertura que hay en la barra central. Después del enfriamiento, los artículos soplados se retiran del molde. La figura 8.12 representa el proceso global para una máquina de 3 estaciones. Algunas máquinas de moldeo por inyección tienen una cuarta estación que puede usarse para diferentes propósitos, como el tratamiento superficial del material o etiquetado de botellas después del soplado, el presoplado el precursor antes de la estación de soplado, proporcionar tiempo extra de enfriamiento, inserción de piezas metálicas en la barra central, etc.

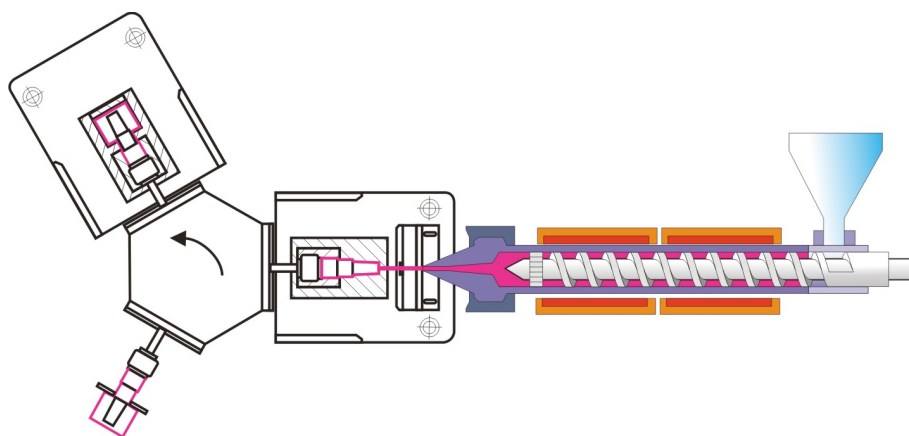


Figura 8.12. Proceso de inyección-soplado.

Las diferencias entre las máquinas comerciales de inyección-soplado residen básicamente en la disposición de las diferentes estaciones y en la forma en que la barra central es transferida de una estación a otra.

Las ventajas del moldeo por inyección-soplado respecto al proceso de extrusión-soplado son las siguientes:

- El proceso produce artículos totalmente terminados y no se producen recortes
- La alta calidad del moldeo del cuello proporciona una precisión dimensional importante y acabados “aptos para niños”

- Los precursores moldeados por inyección permiten un control preciso del peso y del espesor de la pared
- No hay señal del punto por donde se introduce el perno de soplado en la botella
- Alta productividad

Entre los inconvenientes del moldeo por inyección se encuentra que no puede usarse para producir botellas con asas, y el coste de la maquinaria es mucho más elevado que el del moldeo por extrusión-soplado, ya que la producción de un envase individual requiere un molde de inyección una barra central, y un molde de soplado. Este elevado coste puede compensarse por la alta productividad para envases pequeños, donde el número de cavidades es elevado. Los procesos de inyección no se suelen emplear para producciones cortas o para botellas de un tamaño superior a ½ litro.

Por otra parte la cantidad de materiales que se pueden emplear en inyección-soplado es muy superior a la de los que se emplean en extrusión-soplado, pues en este proceso no se requiere una resistencia del fundido elevada. El PET, por ejemplo, que se emplea en botellas de bebidas carbonatadas no tiene un buen comportamiento en extrusión-soplado pero sí resulta adecuado para inyección-soplado. En la actualidad, las botellas de vidrio para medicamentos están siendo sustituidas por botellas de PP obtenidas mediante este proceso.

Hay tres factores importantes implicados en la evaluación de una máquina de moldeo por inyección. El primero es la capacidad de plastificación de la máquina de inyección, además el sistema de cierre de la máquina debe ser suficiente para resistir la presión de llenado y el tercer factor es el tiempo mínimo requerido para realizar los movimientos de los moldes. Esto puede hacerse en un intervalo que va de 1½ a casi 3 segundos. Todos estos factores deben tenerse en cuenta antes de seleccionar el tipo de máquina adecuado para obtener un producto determinado.

El diseño del precursor en los procesos de inyección es crítico. Puede diseñarse para tener un espesor de pared en el cuerpo del precursor de

aproximadamente 1 a 5 mm. La longitud del precursor se diseña de forma que quede un espacio hasta el extremo del molde de soplado de 1 mm, de modo que la tensión que sufra el material en esa dirección al ser soplado sea mínima. El diámetro de la barra central está prácticamente determinado por la dimensión máxima interna final del envase deseado. Para determinar el espesor de la pared del precursor, es necesario saber qué espesor de pared se desea en el artículo final así como el diámetro máximo interior del artículo moldeado.

4. MOLDEO POR TENSIONADO-SOPLADO (STRETCH BLOW MOLDING)

El proceso de tensión-soplado se emplea básicamente para producir botellas para bebidas carbonatadas que deben ser impermeables al CO₂, y que deben por tanto soportar las presiones que pudieran desarrollarse en su interior (hasta 5 atm) y además poseer muy buena transparencia. La idea de fabricar este tipo de botellas surgió de Coca-Cola, quien había observado que el consumo del producto aumentaba si se vendía en botellas grandes, y en principio comenzó a envasarse en botellas de vidrio de 2L. Estas botellas resultaban demasiado pesadas, y por otra parte la crisis del petróleo de los años 70 llevó al desarrollo del proceso de tensión-soplado. Es curioso resaltar que aunque los plásticos se obtienen directamente del petróleo, otros materiales como el aluminio o el vidrio consumen cantidades mucho mayores de petróleo, debido a que son necesarias grandes cantidades de energía durante su procesado.

El envase que se pretendía fabricar para Coca Cola (bebida altamente carbonatada que contiene 4 volúmenes de CO₂ por volumen de líquido) debía tener una serie de requerimientos importantes. Por una parte debía soportar las elevadas presiones que pueden llegar a desarrollarse en una botella de este tipo sin romperse, ni deformarse, ni sufrir pérdidas de presión. Un bote de este tipo es realmente una vasija de presión, para la que el mejor diseño sería una esfera, lo que no resultaría práctico. La siguiente mejor forma es un cilindro con los cantos semiesféricos. Además, este envase no debía dilatarse en largos

periodos de almacenamiento, ni perder la forma, ni el sabor del líquido que contiene, ni el contenido en CO₂. Además debía ser altamente transparente. El proceso para fabricar estos envases fue finalmente desarrollado y patentado por DuPont en los años 70, y hasta hace relativamente pocos años sólo se fabricaban botellas mediante este proceso para Coca-Cola.

En el proceso de tensión-soplado se obtiene la preforma mediante inyección, aunque ocasionalmente se puede obtener mediante extrusión. La preforma se templea en un molde muy frío, de modo que se evita que cristalice el polímero. A continuación el polímero debe recalentarse a una temperatura superior a su T_g. Una vez que se alcanza esta temperatura se produce el tensionado de la pieza en las direcciones axial y radial. Para ello, por una parte la barra central de la máquina sobre la que se obtiene la preforma se alarga y simultáneamente se introduce el aire de soplado en la pieza, como se muestra en la figura 8.13.

Tras la obtención de la preforma se debe impedir la cristalización del material para evitar que pudieran aparecer zonas opacas, por ello el enfriamiento al que se somete la preforma debe ser muy rápido. Una vez que se obtiene la preforma totalmente amorfa, se calienta a una temperatura ligeramente superior a la T_g (95-100°C para el caso del PET) y se le somete a tensión, lo que induce a la formación de pequeñas lamelas de cristales, suficientemente pequeñas para mantener la transparencia. Un material procesado de esta forma es mucho más tenaz y resistente que él mismo amorfo o cristalino. El PET es el que presenta una mayor mejora de propiedades debido al tipo y tamaño de los cristales obtenidos al tensionarlo. Las propiedades barrera y la transparencia de los plásticos también pueden mejorarse mediante la orientación de las moléculas del polímero. El moldeo por tensión-soplado permite normalmente un ahorro mínimo del 10% del peso por envase y superior al 30% en tamaños por encima de un litro para unas mismas propiedades mecánicas.

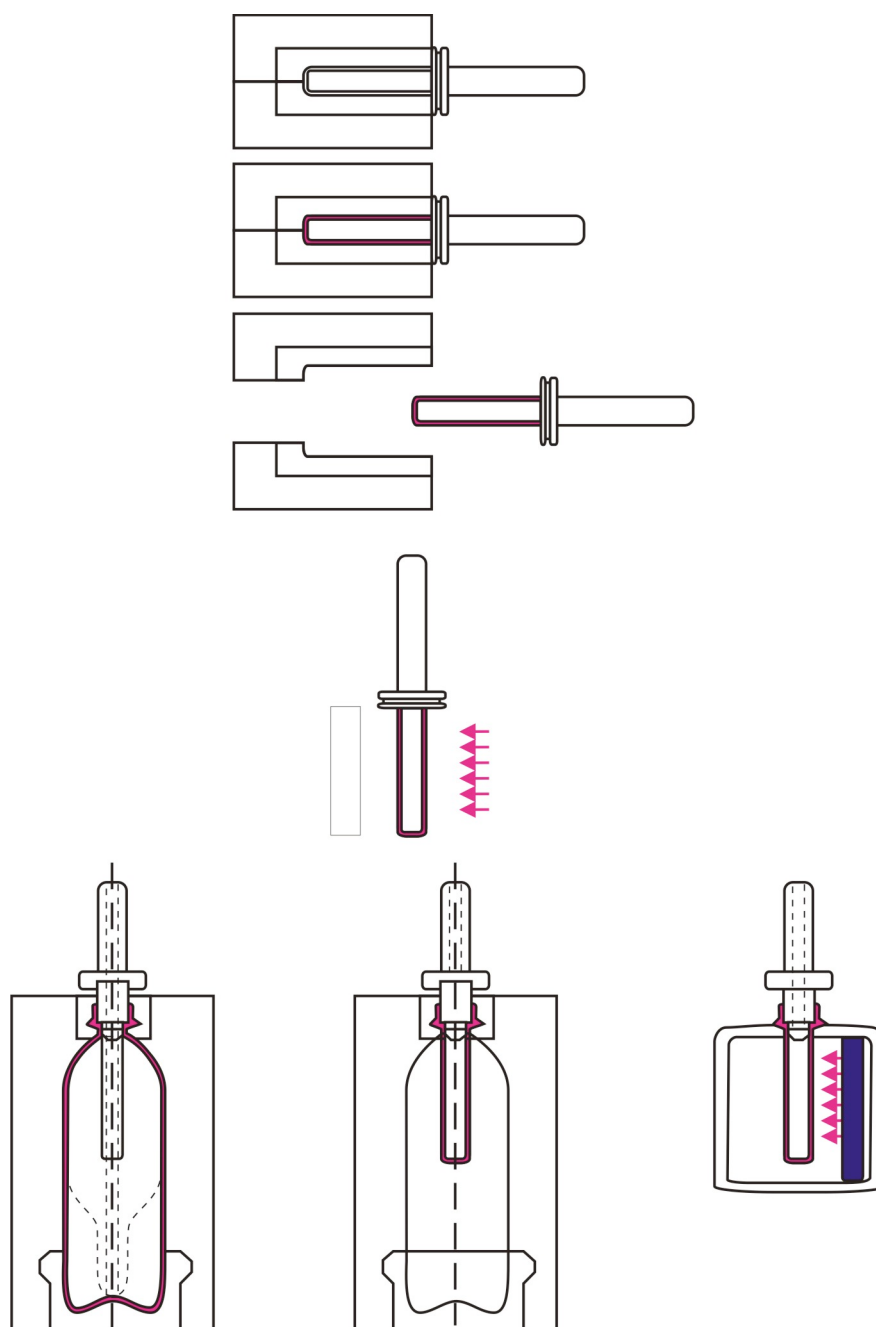


Figura 8.13. Proceso de tensión-soplado.

El polímero que más se emplea en este proceso es el PET. Otros polímeros como el PVC, el SAN, PAN, nylon o el PP también presentan un buen comportamiento en este proceso, sin embargo el PET se emplea con diferencia en los millones de botellas de bebidas carbonatadas que se fabrican diariamente.

Hay básicamente dos métodos para obtener piezas mediante tensión-soplado. En el método en dos etapas las preformas se obtienen mediante inyección y se almacenan, y más tarde se recalientan a la temperatura de orientación para tensionarlas y soplarlas, como se mostró en la figura 8.13. Este sistema en dos etapas es conocido como proceso de recalentado-tensión-soplado. El segundo método es un proceso continuo en el cual los precursores moldeados son inmediatamente acondicionados a la temperatura de orientación y entonces se tensionan y se soplan (proceso en 1 etapa).

En el caso de las máquinas de tensión-soplado en una etapa el equipo necesario consta de:

- una máquina de inyección, generalmente con husillo plastificador.
- un molde de inyección para obtener la preforma.
- una estación de acondicionamiento.
- una estación de tensión-soplado.
- una estación de desmoldeo.

Estas máquinas ofrecen la ventaja de que son la vía menos costosa de introducirse en el mercado, y que someten al material al menor calentamiento posible. En cuanto a desventajas, es un sistema relativamente lento ya que es el ciclo de inyección quien controla el rendimiento de la máquina y la pieza no puede alcanzar los niveles más elevados de orientación ya que el soplado tiene lugar a una temperatura relativamente elevada.

En el sistema de moldeo por tensión-soplado de dos etapas los precursores se introducen en un horno, sobre un plato que gira a una velocidad de aproximada de 60 rpm a temperatura constante, de modo que la distribución de temperaturas es adecuada. Los precursores a continuación se

transportan a la zona de tensión-soplado, donde se soplan en dos etapas (el aire soplado se introduce primero a aproximadamente 200 psi, seguido por 450 psi o más). Por último se llevan a la estación de desmoldeo, se envían a otra zona donde se les ahueca la base y se etiquetan. Las máquinas utilizadas para el sistema tensión-soplado en dos etapas constan de una máquina de inyección convencional, con la que se obtienen las preformas y de una unidad de recalentamiento donde se acondiciona la preforma, se tensiona y se sopla.

Las ventajas del proceso en dos etapas son:

- Ofrece el coste total más bajo
- Produce las botellas de menor peso
- Los precursores pueden diseñarse para optimizar las propiedades de la botella
- Los precursores pueden producirse en una etapa independiente y almacenarse, según las necesidades de la producción y la demanda
- Permite la eficacia más elevada de producción tanto de precursores como de botellas

La principal desventaja del proceso de dos estados es el coste de inversión.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Michel L. Berins, "Plastics Enineering Handbook", Van Nostran Reinhold, New York, 1991.

Dominick Rosato, "Plastics Processing Data Handbook", 2nd ed. Chapman & Hall, London, 1997.

D.H., Morton-Jones, Douglas M. Bryce, "Polymer Processing", Chapman & Hall, Londres, 1991.

Jack Avery, "Injection Molding Alternatives", Hanser Publishers, Cincinnati, 1998.