

FORJA

ASÍ SE HACE

**TÉCNICAS DE FABRICACIÓN
PARA DISEÑO DE PRODUCTO**

CHRIS LEFTERI

BLUME

Contenido

1 Corte de pieza sólida

- 12 Mecanizado
- 15 Corte por control numérico computerizado (CNC)
- 18 Mecanizado por haz de electrones (EBM)
- 20 Torneado
- 23 Alfarería industrial
- 27 Corte de arco eléctrico con plasma

2 Planchas

- 32 Presado químico
- 34 Troquelado
- 36 Corte por chorro de agua
- 38 Mecanizado por descarga eléctrica (EDM) con electrodo de hilo metálico y corte EDM
- 40 Corte por láser
- 42 Corte con oxiacetileno
- 44 Conformado de chapa metálica
- 46 Reposado del vidrio
- 48 Torneado de metales
- 50 Corte de metales
- 52 Termoformado
- 54 Superformado de aluminio
- 56 Conformado por explosión
- 58 Inflado de metales
- 60 Doblado de madera contrachapada
- 62 Conformado tridimensional profundo de madera contrachapada
- 64 Prensado de madera contrachapada

3 Flujo continuo

- 74 Calandrado
- 76 Soplado de película plástica
- 78 Extrusión
- 80 Pultrusión
- 84 Pulformado (Pulshaping™)
- 86 Perfilado por rodillos
- 88 Estampado por rotación
- 90 Tiro de alambre preondulado
- 94 Corte de chapa de madera

4 Formas finas y huecas

- 98 Soplado manual de vidrio
- 100 Moldeo de tubo de vidrio al soplete
- 102 Moldeo del vidrio por soplado y resoplado
- 106 Moldeo del vidrio por prensado y soplado
- 109 Moldeo de plásticos por soplado
- 111 Moldeo por inyección-soplado
- 114 Moldeo por extrusión-soplado
- 116 Moldeo por inmersión
- 119 Moldeo rotativo
- 122 Vaciado
- 125 Hidroconformado de metales
- 128 Extrusión inversa por impacto
- 131 Moldeo de pasta de papel
- 134 Moldeo por contacto
- 136 Proceso de infusión al vacío (VIP)
- 138 Moldeo en autoclave
- 140 Bobinado de filamentos
- 143 Vaciado centrífugo
- 146 Electroconformado

5 Por consolidación

- 150 Sinterizado
- 152 Prensado isostático en caliente (HIP)
- 154 Prensado isostático en frío (CIP)
- 156 Moldeo por compresión
- 158 Moldeo por transferencia
- 160 Moldeo de espuma
- 163 Moldeo de espuma en carcasa de madera contrachapada
- 166 Inflado de maderas
- 169 Forja
- 172 Forja pulvimetalúrgica
- 174 Prototipado por vaciado de precisión (Precise-Cast Prototyping o pcPRO®)

6 Técnicas complejas

- 178 Moldeo por inyección
- 181 Moldeo por inyección-reacción
- 183 Moldeo por inyección con gas
- 185 Moldeo con inserto
- 188 Decoración en molde
- 190 Sobremoldeo
- 192 Moldeo por inyección de metales (MIM)
- 195 Fundición en matriz por inyección de alta presión
- 198 Fundición por revestimiento
- 202 Fundición en arena
- 205 Prensado del vidrio
- 208 Vaciado a presión
- 210 Procesado viscoplástico de cerámicas (VPP)

7 Técnicas avanzadas

- 214 Impresión por chorro de tinta
- 216 Contour crafting
- 218 Estereolitografía (SLA)
- 222 Electroconformado para la fabricación de micromoldes
- 224 Sinterizado selectivo por láser (SLS)
- 227 «Mandriles inteligentes» (Smart Mandrels™) para bobinado de filamentos
- 229 Conformado progresivo de chapa metálica
- 234 Glosario
- 236 Créditos y agradecimientos
- 237 Índice

de sólida

Herramientas de corte para tallar materiales

Este capítulo abarca alguno de los procesos más antiguos que se emplean en la fabricación de objetos. Son procesos cuya clasificación no puede basarse simplemente en que comparten el uso de herramientas para recortar, modelar y desbastar el material. Lo cierto es que, cada vez con más frecuencia, el componente más rudimentario de estos procesos lo han pasado a desempeñar máquinas automatizadas y dirigidas por programas informáticos. Estas máquinas, capaces de cincelar sin esfuerzo la mayoría de los materiales, abren enormes posibilidades a la explotación de las tecnologías de prototipado rápido, sustituyendo al artesano que dio vida a tantos productos a lo largo de la historia.

Mecanizado

incluye las técnicas de torneado, barrenado, torneado al aire, taladrado, escariado, fresado y brochado

El mecanizado pertenece a una rama de la producción que se engloba bajo un término más amplio de uso frecuente: desbastado (es decir, cualquier técnica de corte que desprende virutas del material como resultado del proceso).

El mecanizado se utiliza asimismo como método de posmoldeado, como método de acabado y para añadir detalles secundarios, como por ejemplo roscas.

El propio término «mecanizado» abarca muchos procesos distintos. Entre ellos se incluyen varias operaciones realizadas en un torno para cortar metales, tales como el torneado, el torneado al aire y el roscado. Todas ellas conllevan la aplicación de una herramienta de corte a la superficie del material sometido a rotación. El torneado (véase también pág. 20) suele designar el corte de la superficie externa, mientras que el barrenado hace referencia al corte de la cavidad interna. El torneado al aire utiliza la herramienta de corte para seccionar el extremo romo de la pieza que esta girando. Se utiliza para limpiar la superficie del extremo, aunque la misma herramienta sirve también para retirar rebabas. El roscado es un proceso que utiliza una herramienta afilada y dentada para formar roscas de atornillado en un orificio pre-taladrado.



Producto	linterna Mini Maglite®
Diseñador	Anthony Maglica
Materiales	aluminio
Fabricante	Maglite Instruments Inc.
País	Estados Unidos
Fecha	1979

La linterna Maglite®, con su estética tecnológica tan definida, se ha fabricado mediante una serie de técnicas de desbastado y conformado metálico entre las que sobresale el torneado. La textura y el patrón de diseño del mango, sin embargo, son el resultado del posmoldeado, y más concretamente de un proceso que se llama moleteado.

Volúmenes de producción

Estos varían según la tipología de la que estemos hablando, pero lo cierto es que la producción por medio de fresado y torneado automatizado por control numérico computarizado (CNC) implica la actuación simultánea sobre diversas piezas de varias herramientas de corte, lo que puede generar volúmenes de producción razonablemente altos. Se trata en realidad de una amplia colección de técnicas entre las que también hay que contar el mecanizado manual de componentes individuales.

Precio unitario frente a inversión de capital

En términos generales, no hay que computar aquí costes de mecanizado, si bien el montaje y desmontaje de la pieza de trabajo reduce los índices de producción. Sin embargo, el proceso sigue resultando económico para producciones de fase corta. El fresado y el torneado automatizados por CNC utilizan archivos CAD para automatizar el proceso y producir formas complejas que se pueden fabricar en serie o en masa. Aunque las cortadoras estándar pueden utilizarse en la mayoría de las labores, es posible que haya que fabricar herramientas específicas, lo que encarecería los costes globales.

Velocidad

Varía en función del proceso concreto que se aplique.

Superficie

El mecanizado implica un cierto grado de pulido, por lo que es posible conseguir resultados excelentes sin recurrir al posmoldeado. Las herramientas de corte son asimismo capaces de producir superficies ultraplanas de alto nivel tecnológico.

Tipos/complejidad de la forma

El trabajo en un torno determina que los productos sean axilimétricos, ya que la pieza de trabajo gira en torno a un centro fijo. Los elementos objeto de fresado comienzan siendo bloques de metal y permiten la

formación de componentes mucho más complejos.

Tamaño

Los componentes mecanizados tienen dimensiones muy variables: desde piezas de relojería hasta turbinas de gran escala.

Tolerancias

Los materiales mecanizados aportan niveles de tolerancia excepcionalmente altos: resulta normal un valor de $\pm 0,001$ milímetros.

Materiales relevantes

El mecanizado es una técnica que se suele aplicar a materiales metálicos, si bien también se puede utilizar este proceso con plásticos, vidrio, madera e incluso materiales cerámicos. Con respecto a este último caso, existen determinados vidrios cerámicos especialmente diseñados para el mecanizado que permiten nuevos modos de procesar estos materiales. Una marca muy conocida en este sentido es Macor. Otro material cerámico mecanizable que elimina la necesidad de la cocción es Mycalex, una mica ligada con vidrio que fabrica la empresa estadounidense Mykroy.

Productos habituales

Piezas únicas para la industria: pistones, tornillos, turbinas y una enorme cantidad de piezas, grandes y pequeñas, para diversos usos industriales. Además, es habitual colocar en un torno las llantas de aleación de los coches para proporcionar el acabado a la superficie.

Métodos similares

El término «mecanizado» abarca una gama de procesos tan extensa que en realidad se refiere a una auténtica familia de métodos. Aún así, podemos considerar que el torneado dinámico (véase pág. 20) es una alternativa al torneado convencional.

Información complementaria

www.pma.org

www.nims-skills.org

www.khake.com/page88.html

El taladrado y el escariado suelen ser también operaciones de torno (aunque también se pueden hacer en una fresadora o a mano), pero requieren herramientas de corte diferentes. Como sucede con todas las operaciones de torno, la pieza de trabajo va embridada al centro de un plato giratorio. Mientras que el taladrado es una operación sencilla para crear un orificio, el escariado implica el agrandamiento de un agujero ya existente para darle un acabado liso, lo que se hace con una escariadora especial dotada de varios filos de corte.

Otros procesos de mecanizado incluyen el fresado y el brochado. El primero de ellos, el fresado, recurre a una cortadora giratoria, parecida a un taladro, que se suele utilizar para penetrar en una superficie metálica (aunque se puede aplicar prácticamente a cualquier material sólido). Por su parte, el brochado es un proceso usado para tallar orificios, ranuras y otras características internas complejas (como por ejemplo la forma interior de la cabeza de una llave de tuercas después de su forjado, véase pág. 169).



1 Un dispositivo muy sencillo para el fresado de un trozo de metal. La herramienta de corte, que se asemeja a una broca plana, va instalada por encima de la pieza de trabajo, que está embridada.



2 Un dispositivo simple para una operación de torno en la que el tubo de metal que va a ser seccionado está sujeto a un plato. La herramienta de corte está lista para realizar su función.



- Muy versátil a la hora de producir diferentes formas.
- Se puede aplicar prácticamente a cualquier material sólido.
- Alto grado de precisión.



- Puede resultar un proceso lento.
- Las piezas fabricadas por medio de este proceso pueden estar limitadas por las dimensiones habituales del material utilizado.
- Bajo índice de aprovechamiento del material debido a los desechos producidos durante el corte.

Corte por control numérico computerizado (CNC)



Resulta increíble el modo en que la maquinaria accionada por control numérico computerizado (CNC) corta sin esfuerzo los materiales sólidos, como si fueran mantequilla. Los cabezales de corte van montados sobre una tapa que rota sobre varios ejes –pueden llegar a seis– para cincelar distintas formas como si de escultores autómatas se tratara.

La pieza de mobiliario aquí mostrada es un diseño de Jeroen Verhoeven, miembro del grupo de diseño holandés Demakersvan. Se trata de un mueble tan polifacético en su significado como en su construcción. En palabras del propio grupo Demakersvan, «si lo analizamos con detenimiento, el gran milagro de

Producto	mesa de la gama Cinderella
Diseñador	Jeroen Verhoeven
Materiales	contrachapado de abedul de Finlandia
Fabricante	Demakersvan
País	Holanda
Fecha	2004

El estilo de la construcción y formas de esta mesa de la gama Cinderella, de inspiración surrealista, refleja a la perfección la creencia del fabricante de que nuestras máquinas de alta tecnología son Cienicientas anónimas. La mesa juega ingeniosamente con la imagen del mobiliario tradicional, de corte romántico, aplicando un proceso de fabricación completamente moderno.

cómo surgen los productos industriales resulta un fenómeno prodigioso. Las máquinas de alta tecnología son nuestras anónimas Cenicientas. Las obligamos a trabajar en cadenas robotizadas, pero en realidad podrían aportarnos muchísimo más».

Es el pensamiento que rige la fabricación de la mesa Cinderella. Consta de 57 capas de una placa multilaminar de abedul que se cortan una por una, se pegan y se vuelven luego a cortar con una máquina CNC. La mesa ilustra a la perfección la capacidad que tienen las

máquinas multieje dirigidas por CNC de tallar formas tridimensionales de un modo muy complejo a partir de la información suministrada por un archivo CAD. También es un ejemplo único de una forma totalmente nueva: creada a partir de un material muy antiguo mediante un proceso que permite tallar prácticamente cualquier forma en una pieza de material, esta mesa manifiesta a las claras lo que en Demakersvan describen como los «secretos que se esconden en las técnicas de producción de tecnología punta».



Volúmenes de producción

El corte por CNC se adapta mejor a la producción de unidades por encargo o a la fabricación en serie, debido a la lentitud de ejecución.

Precio unitario frente a inversión de capital

No hay costes de maquinado, aunque el tiempo que demandan la operación de corte y la generación (mediante diseño asistido por ordenador) de los datos tridimensionales sí que resulta costoso.

Velocidad

La velocidad viene determinada por varios factores: el material, la complejidad de la forma y el acabado de superficie requerido.

Superficie

Buena, aunque, en función del material, puede ser necesario el postacabado.

Tipos/complejidad de la forma

Prácticamente cualquier forma que se pueda diseñar en la pantalla de un ordenador.

Tamaño

Desde pequeños productos hasta objetos enormes. En Estados Unidos, por ejemplo, varias empresas (entre las que se incluye CNC Auto Motion) fabrican máquinas de dimensiones gigantescas: 15 metros de recorrido longitudinal, tres metros de eje vertical y una bancada de 6 metros de lado a lado.

Tolerancias

Altas.

Materiales relevantes

La tecnología CNC se puede utilizar para cortar una amplia gama de materiales, como son madera, metal, plástico, granito y mármol. También sirve para cortar espuma y para modelar arcilla (*véase inferior*).

Productos habituales

Ideal para diseños complejos e individualizados, como por ejemplo herramientas de moldeo por inyección, troqueladoras, piezas de mobiliario o pasamanos con formas complicadas. También se puede usar, en los estudios de diseño del sector de la automoción, para prototipados rápidos de coches hechos a tamaño real en espuma o arcilla de modelar.

Métodos similares

El corte por láser (*véase* pág. 40), cuando el láser va montado sobre un cabezal multieje, es posiblemente el método más parecido.

Información complementaria

www.demakersvan.com

www.haldeneuk.com

www.cncmotion.com

www.tarus.com



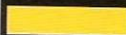
1 Las planchas individuales de madera contrachapada se embridan conjuntamente antes de someterse al tratamiento mecánico.



2 Vista de la estructura interna mecanizada antes de proceder al cortado de la superficie externa.



- Se puede utilizar prácticamente con cualquier material.
- Se pueden modelar los diseños directamente a partir de los archivos CAD.
- Técnica muy adaptable para cortar formas muy profundas y complejas.



- No sirve para altos volúmenes de producción.
- Puede resultar un proceso lento.

Mecanizado por haz de electrones (EBM)



El mecanizado por haz de electrones (tecnología EBM) es un proceso versátil utilizado para cortar, soldar, taladrar o recocer componentes. En tanto que proceso mecanizado, una de sus muchas ventajas es que posibilita la ejecución de cortes ultrafinos con una precisión tan alta que se puede medir en micrómetros. La tecnología EBM implica la utilización de un haz de electrones de alta energía que se enfoca por medio de una lente y se dispara a velocidades muy altas (entre el 50 y el 80 por ciento de la velocidad de la luz) contra una zona concreta del producto, haciendo que el material se caliente, se funda y vaporice. El proceso ha de tener lugar en una cámara de vacío para garantizar que los electrones no sufran alteraciones ni sean desplazados de su trayectoria por efecto de las moléculas del aire.

Producto	implantes individualizados de tres pestañas
Materiales	titanio
País	Suecia
Fecha	2005

Esta placa de cadera fabricada en titanio ilustra el característico «salpicado» de la superficie que produce esta técnica.



Volúmenes de producción

Adecuado para producción por encargo o en serie.

Precio unitario frente a inversión de capital

La inversión de capital es reducida por cuanto no hay costes de maquinado, ya que el patrón lo marca un archivo CAD. Sin embargo, el equipamiento que produce el haz de electrones sí es muy costoso.

Velocidad

El haz de electrones se mueve muy rápido, con lo que las propias velocidades de corte son muy elevadas. Es posible tallar así de manera casi instantánea un orificio de hasta 125 micras en una plancha de 1,25 milímetros de espesor. Naturalmente, tanto el tipo de material como su espesor influyen en la duración del ciclo. Para cortar una ranura de 100 milímetros de ancho en una pieza de acero inoxidable de 0,175 milímetros de espesor, la velocidad de corte deberá ser de 50 milímetros por minuto.

El implante de la imagen necesitó cuatro horas para su fabricación.

Superficie

El proceso puede dejar sobre la superficie trabajada diversas marcas que, según de qué aplicación estemos hablando, pueden ser un resultado indeseado: así, por ejemplo, el efecto de salpicadura en la zona próxima al corte.

Tipos/complejidad de la forma

Este proceso resulta ideal para tallar una fina hilera de orificios en materiales de muy

poco espesor. El haz se puede enfocar a una distancia de entre 10 y 200 micras: los costes quedan justificados por la enorme precisión de este método.

Tamaño

La desventaja de utilizar una cámara de vacío es que existen limitaciones en el tamaño de las piezas.

Tolerancias

Extremadamente altas, es posible hacer cortes de hasta 10 micras. Con materiales que superan los 0,13 milímetros de espesor, el corte presentará un fino ahusamiento de dos grados.

Materiales relevantes

Prácticamente cualquier material, si bien demoran el proceso aquellos que funden a altas temperaturas.

Productos habituales

Además de las aplicaciones de ingeniería y el tipo de implantes médicos mencionados, uno de los usos más interesantes de la tecnología EBM se da en la unión de nanotubos de carbono. Unir cualquier cosa a nanoescala resulta difícil, pero con esta técnica, al no haber contacto con el material, el mecanizado por haz de electrones nos facilita un sistema que une los tubos sin aplastarlos.

Métodos similares

El corte por láser (véase pág. 40) y el corte de arco eléctrico con plasma (véase pág. 27).

Información complementaria

www.arcam.com
www.sodick.de



- Extremadamente preciso.
- No hay contacto con el material que se está cortando, con lo que la necesidad de sujeción es mínima.
- Se puede usar para producir lotes pequeños.
- Versátil: una única herramienta corta, suelda y/o recuece al mismo tiempo.



- Una desventaja en comparación con el corte por láser (véase pág. 40) es que requiere una cámara de vacío.
- El corte por láser puede ser igual de eficaz si se busca un mecanizado de menor precisión.
- Alto consumo de energía.

Torneado

con torno dinámico

El proceso, consistente en montar un material sobre una rueda giratoria e ir rebanando finamente su superficie, tiene miles de años de existencia. El material que con más frecuencia se somete al torneado es la madera, pero también la cerámica «en verde» goza de gran popularidad como material utilizado en la producción industrial del mismo tipo de formas redondas y simétricas.

En el torneado de cerámica, un trozo de arcilla se mezcla hasta formar un bloque de cerámica. Después se somete a extrusión hasta convertirlo en lo que se llama «arcilla batida». Esta arcilla, de consistencia parecida a la del cuero, se coloca entonces sobre un torno y se tornea, sea a mano o con una cortadora automática.

En el otro extremo de la escala de producción industrial, los ingenieros del Instituto Fraunhofer en Alemania han desarrollado un proceso llamado torno dinámico. Se utiliza en la producción de piezas de metal no axilsimétricas para aplicaciones de ingeniería, y no requiere la retirada y sustitución manual del producto. Las formas vienen definidas por un programa CAD que alimenta directamente un torno. Éste permite que la herramienta cortadora se desplace hacia arriba y hacia abajo en el eje lateral.

Producto	mano de mortero
Materiales	gres cerámico con empuñadura de madera
Fabricante	Wade Ceramics
País	Reino Unido

El proceso de torneado se ha utilizado para las dos partes que componen esta pieza, la empuñadura de madera y la cabeza de cerámica.





Volúmenes de producción

Desde piezas individuales en adelante. Los costes de maquinaria y montaje para una única pieza pueden resultar prohibitivos, aunque todo depende de los requisitos específicos. Para producir en grandes cantidades puede ser necesario un proceso automatizado. El torno dinámico, en la actualidad poco desarrollado, resulta especialmente adecuado para producciones muy pequeñas o encargos individuales.

Precio unitario frente a inversión de capital

Depende del volumen, pero es bajo en comparación con otros métodos de producción de piezas de cerámica, como por ejemplo el prensado isostático en frío o en caliente (véanse págs. 152 y 154 respectivamente) y el vaciado (véase pág. 122). Con el método del torno dinámico no hay maquinado convencional, lo que evidentemente rebaja los costes.

Velocidad

Depende del producto. A modo de ejemplo, una sencilla palmatoria se fabrica en 45 segundos, un mortero en 1 minuto y una mano de mortero en 50 segundos. La relación entre la longitud y profundidad del corte en la técnica del torno dinámico es la que determina la velocidad a la que se pueden fabricar las piezas. Cuantos más picos haya y cuanto mayor sea la profundidad de éstos, más lento será el proceso.

Superficie

Buen aspecto, aunque depende del material (por ejemplo, en la mano de mortero que aquí se muestra, la empuñadura de madera tiene peor acabado que la cabeza de cerámica).

Tipos/complejidad de la forma

Sólo válido para formas simétricas. Los tornos dinámicos representan una clara mejora con respecto al torneado

convencional en torno de metal y pueden producir piezas mucho más complejas que el vaciado tradicional.

Tamaño

Un tamaño máximo estándar, como los producidos por Wade Ceramics en el Reino Unido, viene a ser 350 milímetros de diámetro por 600 milímetros de longitud. El método del torno dinámico permite una longitud máxima de 300 milímetros con un diámetro operativo máximo de 350 milímetros.

Tolerancias

Tolerancia de ± 2 por ciento o bien de 0,2 milímetros, la que sea mayor. La tolerancia, sin embargo, es más alta cuando se corta el metal sobre un torno, sobre todo si se usa un procedimiento de CNC (control numérico computerizado). En el caso del torno dinámico la tolerancia es de ± 1 milímetro.

Materiales relevantes

Los materiales cerámicos y la madera suelen prestarse al torneado, si bien casi todos los materiales sólidos son susceptibles de cortarse por este procedimiento. La mayoría de los metales y plásticos pueden someterse al proceso del torno dinámico, aunque los aceros endurecidos al carbono pueden resultar problemáticos.

Productos habituales

Fuentes, platos, tiradores, manos de mortero, aislantes eléctricos de cerámica y muebles.

Métodos similares

Para los materiales cerámicos encontramos un dispositivo giratorio parecido en los procesos de torneado exterior e interior de piezas de alfarería industrial (véase pág. 23).

Información complementaria

www.wade.co.uk

www.fraunhofer.de/fhg/EN/press/pi/2005/09/Mediendienst92005

Thema3.jsp?print=true



1 El cuenco del mortero se torne a mano utilizando una herramienta convenientemente perfilada para conseguir las formas justas.



2 Acabado de una mano de mortero de cerámica con una herramienta alisadora plana.



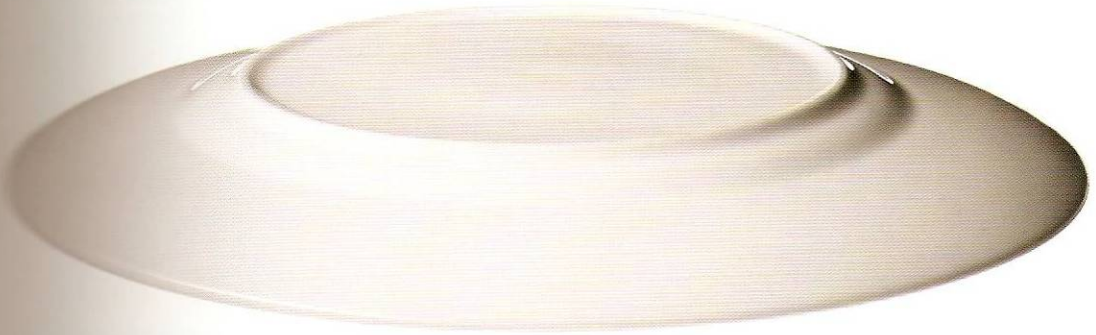
- Igual sirve para volúmenes de producción altos que bajos.
- Se puede usar con materiales muy diversos.
- Los costes de equipamiento pueden ser reducidos.
- El proceso con torno dinámico permite labrar formas no redondas en una única operación de torno.



- En el torneado convencional las piezas se limitan a perfiles circulares.
- En el proceso con torno dinámico, el acabado de la superficie queda afectado por la profundidad de corte y el número de picos, aspectos éstos que también acarrearán una reducción de la velocidad de producción.

Alfarería industrial

incluye el torneado exterior e interior de materiales cerámicos



Nos encontramos ante dos variantes muy parecidas empleadas para la fabricación en masa de formas cerámicas huecas –bocinas, por ejemplo– y de otras más planas como puedan ser los platos de mesa. En inglés se distinguen mediante dos palabras bastante curiosas: *jiggering* y *jollying*. La forma más sencilla de comprender estos métodos es pensar en el torno del alfarero tradicional, pero convertido ahora en un proceso industrial donde las manos del artesano han sido sustituidas por una herramienta perfilada que va pelando el barro a medida que éste gira sobre el torno. En el torneado del diámetro exterior (*jiggering*), el molde determina la forma interna de la pieza, mientras que la herramienta cortadora va

conformando la cara externa. Por el contrario, en las operaciones de torneado del diámetro interior (*jollying*) la herramienta de corte va dando forma a la cara interna de la pieza.

Esta última técnica se emplea para fabricar piezas con cierta profundidad. El primer paso consiste en la extrusión de una pella de arcilla, que se va cortando en forma de discos. Éstos forman el revestimiento interno de las piezas. Se trata de una especie de tazas de arcilla cuyas proporciones son parecidas a las del objeto final. Los revestimientos se colocan en el interior de unos moldes cóncavos que, a su vez, van montados en un huso giratorio sobre el torno. Aquí se produce la analogía con el trabajo del alfarero. Mientras gira sobre el huso del torno, la arcilla se ve impelida hacia

Producto	plato de la casa Wedgwood
Materiales	porcelana de hueso
Fabricante	Wedgwood
País	Reino Unido
Año	1920

Este diseño clásico de la casa Wedgwood está elaborado mediante torneado exterior (*jiggering*): un proceso que ha cambiado poco desde que Josiah Wedgwood fundara su alfar en 1759, excepto por la incorporación de la electricidad para mover el torno. Si le damos la vuelta a cualquiera de estos platos observaremos la forma de la herramienta perfiladora que se ha empleado para trabajar la arcilla.

el interior del molde y va formando una pared. Se hace descender a continuación un cabezal perfilado sobre el interior de la pieza cóncava para ir rebajando la arcilla y dar forma exacta y acabada al perfil interno del objeto.

Los trabajos de conformado del diámetro exterior (*jiggering*) constituyen un proceso bastante parecido, aunque en esta ocasión se trata de producir objetos poco hondos. Funciona al revés que el torneado interior (*jollying*), ya que la herramienta perfiladora corta la cara

externa y no el interior de la pieza. También aquí se empieza por formar un tarugo o pella de arcilla que se coloca encima de un molde giratorio o esparcidor. Aquí, mediante la aplicación de un perfil plano, va incrementando su grosor. Se retira entonces esta torta gruesa o placa y se coloca sobre el molde del plato. Se hace girar el conjunto y se aplica una herramienta perfiladora para ir desbastando la cara externa de la arcilla y conformando así una superficie exterior exacta y uniforme.



Volúmenes de producción

Estas técnicas pueden usarse por igual en la producción de lotes y en la fabricación en masa. Muchas grandes industrias alfareras utilizan habitualmente estos métodos para la fabricación de platos y fuentes.

Precio unitario frente a inversión de capital

La inversión en equipamiento es asequible si la fabricación es por lotes. Se trata de procedimientos que también pueden usarse para la fabricación a mano de pequeños volúmenes de producción.

Velocidad

El torneado de la cara interior produce una media de ocho piezas por minuto, mientras que el conformado en torno de la cara exterior arroja un ritmo medio de producción de cuatro unidades por minuto.

Superficie

El acabado de la superficie es tal que los productos pueden esmaltarse y cocerse sin necesidad de rematado intermedio.

Tipos/complejidad de la forma

En comparación con el vaciado (véase pág. 122), en el que el detalle de la pared interna de las piezas depende por completo de la forma externa, estos dos procesos procuran un control absoluto de los perfiles individuales tanto interno como externo.

Tamaño

El tamaño estándar de los platos de mesa fabricados a máquina alcanza un diámetro postcocción de unos 30 centímetros.

Tolerancias

± 2 milímetros.

Materiales relevantes

Todo tipo de cerámicas.

Productos habituales

Ambos métodos se utilizan sobre todo para fabricar vajilla de mesa. Su diferencia reside en la profundidad de los objetos producidos por cada uno de ellos. El conformado en torno del perfil interno (*jollying*) se utiliza para la fabricación de cazuelas, tazas y fuentes hondas —recipientes de cierta profundidad—, mientras que el conformado del perfil externo (*jiggering*) se emplea para fabricar objetos poco profundos, tales como platos, platillos y fuentes planas.

Métodos similares

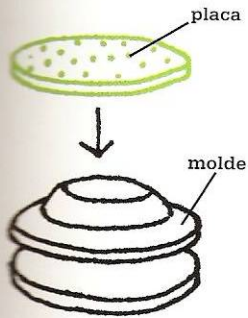
Aparte de la alfarería tradicional, la alternativa más cercana en el trabajo con materiales cerámicos es el torneado (véase pág. 20), que se puede emplear para crear formas simétricas y perfiles distintos sin necesidad de una inversión fuerte en bienes de equipo (aunque requiere un dispositivo de producción más complejo). Otros métodos alternativos podrían ser el prensado isostático en frío y en caliente (véanse págs. 152 y 154 respectivamente) y el vaciado a presión (véase pág. 122).

Información complementaria

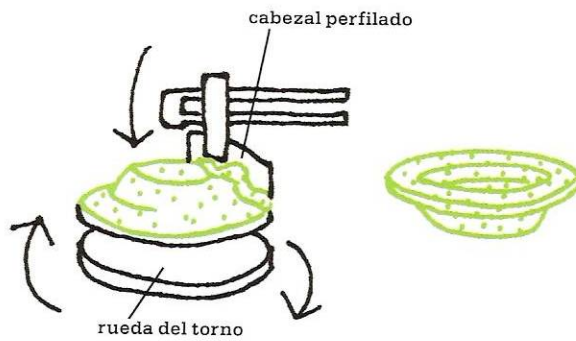
www.wades.co.uk

www.royaldoulton.com

Torneado exterior



1 En esta técnica, una torta gruesa y plana de arcilla (placa) se coloca encima de un molde que da forma al interior del plato.



2 Se hace descender un cabezal perfilado sobre la placa que se encuentra girando para ir rebajando el barro y conformar con exactitud un perfil externo.

3 El plato sopero ya terminado y listo para la cocción.



1 Se coloca una pella de arcilla sobre un plato giratorio.



2 Con un perfil plano, se le da la forma de una torta lisa.



3 Esta torta o placa se retira manualmente del plato giratorio o esparcidor.



4 Se colocación la placa sobre el molde conformador.

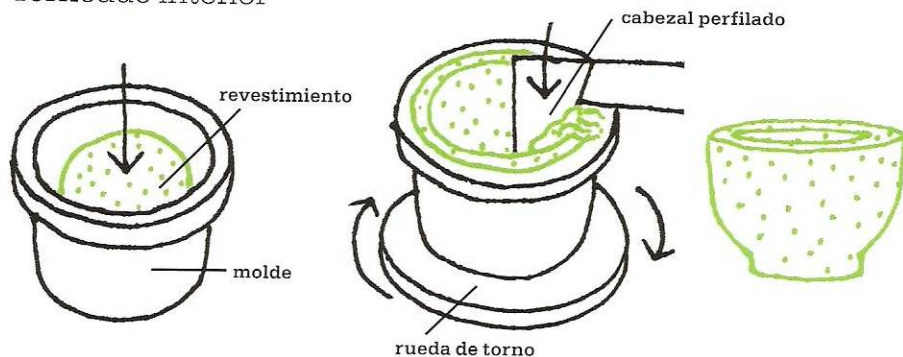


5 Bajo estrecha vigilancia, un cabezal perfilado ataca la placa que está dando vueltas para ir decapando la arcilla.



6 Platos soperos, con la característica forma plana que produce el torneado exterior, listos para la cocción.

Torneado interior



1 En el torneado interior, se extrude una pella de arcilla y se corta en discos para formar los revestimientos. Cada uno de estos últimos se coloca en el interior de un molde cóncavo que,

a su vez se monta sobre un huso giratorio en el torno alfarero.

2 La arcilla se va adhiriendo al interior del molde y forma una pared. Un cabezal perfilado va

decapando la arcilla para labrar el perfil exacto del interior de la pieza.

3 El recipiente cóncavo ya terminado y listo para su cocción.



1 Un disco irregular de arcilla (el revestido interno de la pieza) se comprime en el interior de un molde de cierta profundidad.



2 Un cabezal perfilado extiende homogéneamente este «forro» por el interior del molde giratorio.



3 Acabado manual de la superficie externa: la cara que ha estado en contacto con el molde.



- Control absoluto de grosores y formas de las secciones.
- Puede ser más rentable que el vaciado (véase pág. 122).
- Menos proclive a distorsiones que las piezas de vaciado.

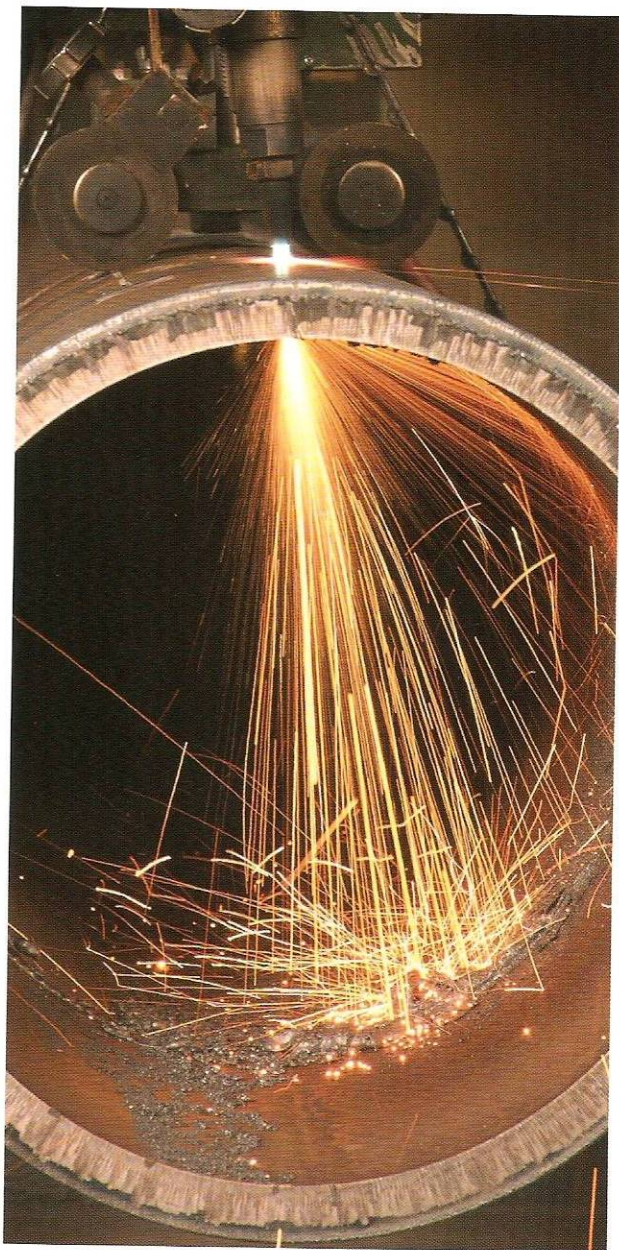


- Puede adolecer de falta de precisión debida a la contracción de las piezas durante el horneado.
- Como ambos procesos operan, en el fondo, como la alfarería de torno tradicional, sólo pueden producir piezas simétricas.

Corte de arco eléctrico con plasma

«Unos operarios vestidos con mono y llevando un casco con pantalla oscura de protección»: con eso queda todo dicho sobre este proceso. Igual que el corte con oxiacetileno (véase pág. 42), el corte con arco plasma pertenece al mundo de la industria pesada y es parte de una rama de la producción que, bajo la denominación de corte técnico se encuadra en los procesos que no implican desprendimiento de virutas. Su principio operativo se basa en la proyección de un torrente de gas ionizado, el cual alcanza una temperatura tan alta que vaporiza literalmente el metal objeto del corte.

La designación de este proceso alude al término «plasma», que es aquello en lo que se convierte un gas cuando se calienta hasta niveles muy altos. Implica el uso de una corriente de gas —normalmente nitrógeno, argón u oxígeno— enviada por un fino conducto hasta el centro de una boquilla en cuyo interior hay un electrodo cargado negativamente. La combinación de la energía eléctrica que alimenta este electrodo y el contacto entre el extremo de la boquilla y el metal que se está cortando genera un circuito. Ello produce una chispa muy vigorosa —el arco— entre el electrodo y la pieza metálica que se está trabajando, y esta chispa,



Aquí se aprecia la vinculación a la industria pesada de este método de corte. El tubo se hace girar alrededor del eje central para permitir la extracción de un pequeño tramo.

a su vez, calienta el gas hasta convertirlo en plasma. El arco puede alcanzar temperaturas de hasta 27.800 °C, y debido a esto funde el metal al paso de la boquilla.

La anchura de la línea de corte, también llamada «entalladura», es un

factor que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar determinadas formas, puesto que su espesor puede oscilar entre 1 y 4 milímetros, dependiendo del propio grosor de la placa metálica, y puede afectar a las dimensiones del producto.



Volúmenes de producción

El corte de arco eléctrico con plasma es un proceso económico cuando se trata de producir lotes pequeños, ya que no requiere inversión en maquinaria.

Precio unitario frente a inversión de capital

A menos que queramos introducir una plantilla de corte, el proceso se ejecuta sin maquinado. En la variante automatizada del proceso, la información relativa a la forma que se quiere cortar la proporcionan archivos de diseño asistido por ordenador (CAD).

Velocidad

Por lo general, se requiere poco tiempo de montaje, aunque la velocidad se ve muy influida por el tipo de material y su espesor. Así por ejemplo, cortar un bloque de acero de 25 milímetros y con una longitud de 300 milímetros requerirá en torno a un minuto, mientras que una pieza de 2 milímetros se puede cortar a una velocidad de 2.400 milímetros por minuto.

Superficie

Incluso cuando se utiliza acero inoxidable de gran dureza, este proceso genera perfiles lisos y sin imperfecciones, siendo sus resultados mejores que los del corte con oxiacetileno (véase pág. 42). La operación de cortado se puede también controlar con el fin de producir distintas clases de superficie, en función de la relación entre coste y calidad del perfil. En otras palabras, tiempos de corte más prolongados implican un mejor acabado de los perfiles.

Tipos/complejidad de la forma

El proceso resulta óptimo para su aplicación a materiales de calibre grueso. Los metales de calibre fino, por debajo de los 8 milímetros, pueden distorsionarse

en el curso de la operación, lo que también sucede a veces con las secciones muy delgadas y estrechas. Como pasa en todas las operaciones de cortado de chapa, encajar una forma con otra (como cuando se hacen galletas y se cortan dejando el menor espacio posible entre una y otra para aprovechar al máximo la masa) economiza material (*nesting*).

Tamaño

El uso de dispositivos cortadores de mano implica que no existe un tamaño máximo. Las chapas más finas de 8 milímetros pueden distorsionarse.

Tolerancias

Dependen del espesor del material, pero, por dar una idea, la tolerancia se mantiene en niveles de $\pm 1,5$ milímetros con planchas de 6 a 35 milímetros de espesor.

Materiales relevantes

Cualquier material metálico conductor de la electricidad, pero sobre todo el acero inoxidable y el aluminio. El proceso resulta más difícil cuanto mayor es el contenido de carbono del acero.

Productos habituales

Construcción pesada, incluyendo astilleros y componentes mecánicos.

Métodos similares

El mecanizado por haz de electrones (EBM) (véase pág. 18), el corte con oxiacetileno (véase pág. 42), el láser (véase pág. 40) y el corte por chorro de agua (véase pág. 36).

Información complementaria

www.aws.org

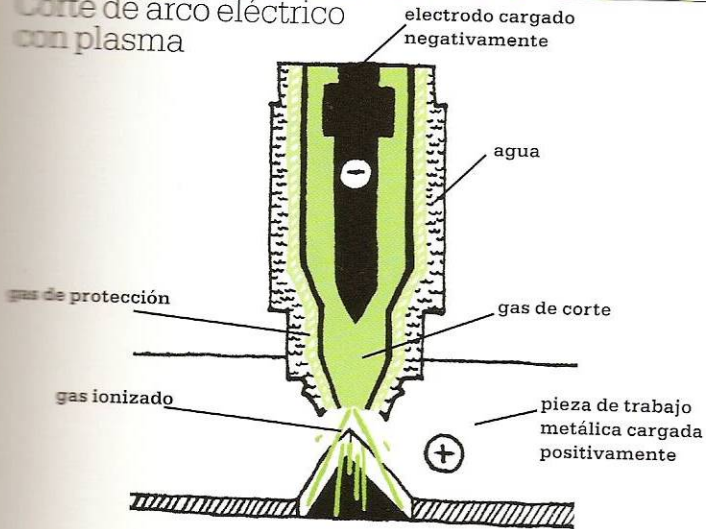
www.twi.org.uk/j32k/index.xtp

www.iiw-iis.org

www.hypertherm.com

www.centricut.com

Corte de arco eléctrico con plasma



Una corriente de gas presurizado e ionizado extremadamente caliente fluye a alta velocidad a través de una pequeña boquilla refrigerada con agua. Se forma así un arco de plasma entre el electrodo y la pieza de metal con carga positiva que se está cortando. De este modo, la pieza se funde y se oxida por reacción exotérmica.



- El proceso puede ser tanto manual como automático.
- Adecuado para planchas gruesas.
- Se puede aplicar a una gama de metales más amplia que si se utiliza el corte con oxiacetileno.



- No es adecuado para chapas de menos de 2 milímetros de grosor.

mas

Productos que cobran vida en forma de planchas de material

A lo largo de los últimos quince años se ha venido produciendo un importante incremento en el número de productos que se fabrican a partir de chapas o láminas de material. Posiblemente se deba al hecho de que el punto de partida es un material preelaborado, lo que en cierta medida abarata los costes de producción. Otras razones puede hallarse en la rentabilidad de las herramientas troqueladoras o incluso en la ausencia de costes de mecanizado en procesos tales como el fresado químico. Por otra parte, dentro del mundo de los productos fabricados en masa, el troquelado de plásticos como el polipropileno ha generado una gran abundancia de embalajes nuevos, artículos de iluminación e incluso mobiliario bastante grande. Tal vez el atractivo de estos procesos resida en que el fabricante puede simplemente cortar estos materiales, que luego son ensamblados por el propio consumidor.

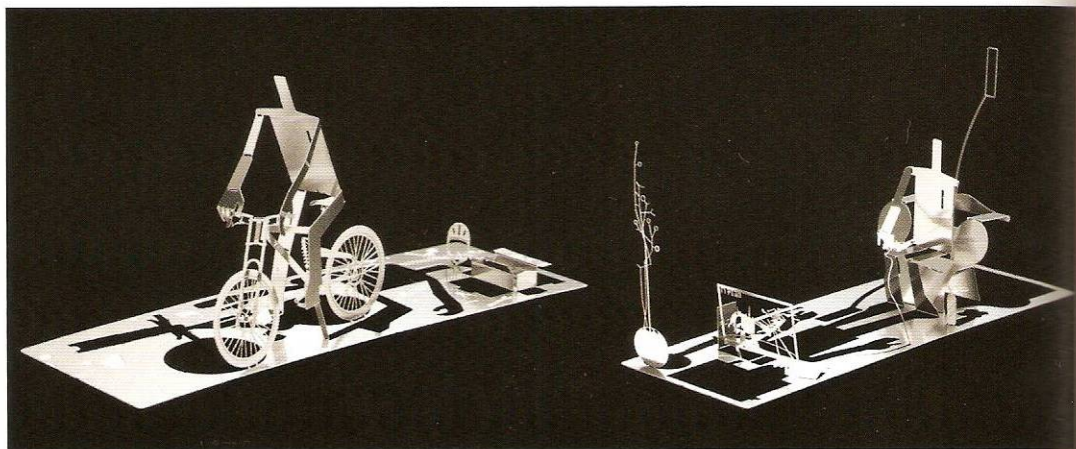
Fresado químico

TAMBIÉN LLAMADO grabado al ácido

El fresado químico, también conocido como grabado al ácido, es un buen método para producir diseños complicados sobre chapas planas de metal de muy poco espesor. Se basa en el uso de ácidos corrosivos, un proceso que guarda cierta similitud con el que se emplea para revelar fotografías.

El fresado químico implica la impresión de un revestimiento sobre la superficie del material tratado. Este revestimiento, que funciona como capa protectora frente a la acción corrosiva

del ácido, se puede aplicar en forma de diseño lineal o imagen fotográfica. Cuando se rocía la pieza con ácido por ambas caras, el metal que ha sido expuesto a este agente (sin la capa protectora) se corroe por la acción química de aquél. Como sucede en el proceso de troquelado de plásticos (véase pág. 34), es posible «semigrabar» pliegues en el diseño, lo que permite que la chapa tenga líneas de plegado para la creación de estructuras tridimensionales.



Producto tarjeta comercial Mikroman

Diseñador Sam Buxton

Materiales acero inoxidable

Fecha 2003

Los detalles de estas ingeniosas tarjetas comerciales, de gran finura y complejidad (se despliegan mostrando, respectivamente, un hombre montado en bicicleta y otro trabajando en una oficina) nos ilustran a la perfección la capacidad que tiene el fresado químico para convertirse en un método muy decorativo y preciso de cortar metales.



Volúmenes de producción

Se pueden fabricar productos individuales, pero el proceso es más adecuado para volúmenes de producción en serie o en masa.

Precio unitario frente a inversión de capital

Los costes de montaje son bajos, porque el revestimiento impreso elimina la necesidad de maquinaria pesada. No obstante, no es previsible que los costes unitarios de la producción en serie sean muy inferiores a los de la producción en masa.

Velocidad

Depende de la complejidad de la pieza artística.

Superficie

Debido a la corrosión del metal, cualquier superficie semigrabada posee una textura áspera y mate. Sin embargo, esta textura se suele convertir en un rasgo decorativo. Los perfiles de corte no presentan rebabas.

Tipos/complejidad de la forma

Es un proceso ideal para cortar chapas y láminas delgadas. Permite asimismo labrar formas y detalles muy complicados sin defectos como las quemaduras que a veces produce el corte por láser (véase pág. 40).

Tamaño

Por lo general se limita a las dimensiones estándar de las chapas.

Tolerancias

Los niveles de tolerancia vienen determinados por el espesor del material.

Los agujeros tienen que ser más grandes (normalmente, hasta una o dos veces) que el espesor del metal, lo que confiere a un material que tenga un espesor de entre 0,025 y 0,050 milímetros una tolerancia de $\pm 0,025$ milímetros.

Materiales relevantes

Este proceso se puede aplicar a toda una gama de metales, entre los que se incluyen el titanio, el tungsteno y los aceros.

Productos habituales

Componentes electrónicos como interruptores, accionadores, micropantallas y gráficos para etiquetado industrial y elementos de señalización. El proceso se usa también para la fabricación de productos industriales, y en el sector militar se emplea para la fabricación de mecanismos disparadores de gran flexibilidad utilizados en misiles: el disparador es tan fino que va cambiando en función de la presión del aire conforme se acerca a su objetivo.

Métodos similares

Recortado (véase corte de metales, pág. 51), corte por láser (véase pág. 40), mecanizado por haz de electrones (véase pág. 18) y electroconformado para la fabricación de micromoldes (véase pág. 222).

Información complementaria

www.rimexmetals.com

www.tech-etch.com

www.precisionmicro.com

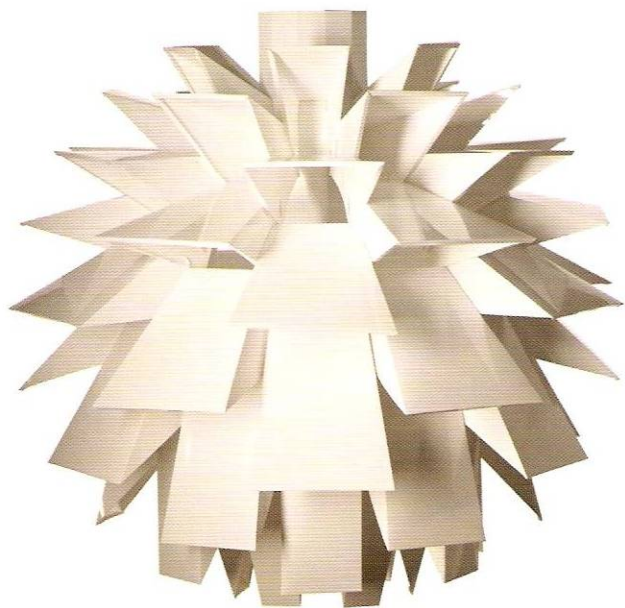
www.photofab.co.uk



- Sin maquinado.
- Proceso muy flexible para crear detalles de superficie.
- La imagen es trazada por láser sobre una película a partir de un archivo CAD, con lo que resulta fácil introducir modificaciones en los diseños.
- Tolerancias buenas.
- Apto para chapas finas.

- Sólo se puede utilizar con metales.

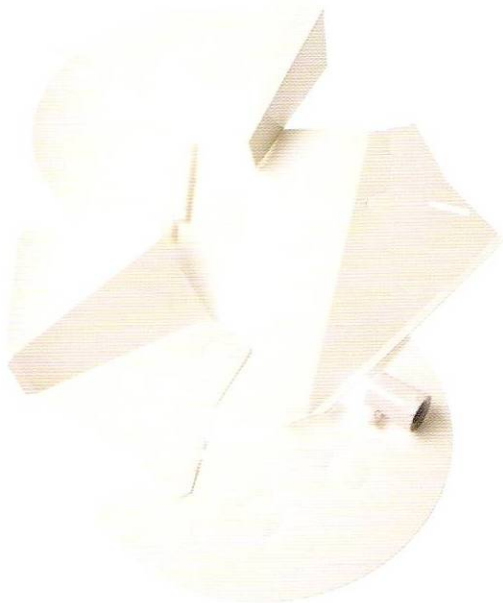
Troquelado



Para describir este proceso, pensemos en una analogía muy simple: imaginemos un instrumento de cocina como puede ser un molde para hacer galletas. Éste actúa recortando las galletas de la masa. De la misma manera, el troquelado, que se aplica con igual facilidad al papel o al plástico, es un sencillo proceso que implica hundir un borde afilado en un material fino al objeto de recortar una forma en una sola operación. Una herramienta troqueladora posee dos funciones: la principal consiste en cortar una forma a partir de una lámina. La secundaria es aplicar pliegues sobre el material para así conferirle una curvatura precisa. Los pliegues son necesarios cuando se construyen formas tridimensionales y articulaciones a partir de una lámina.

Producto	pantalla de lámpara Norm 69
Diseñador	Simon Karkov
Materiales	propileno
Fabricante	Normann Copenhagen
País	Dinamarca
Fecha	2002

Esta pantalla de lámpara (*superior*) se vende desmontada en piezas planas y embalada en una caja de dimensiones parecidas a las de las pizzas. Son necesarios unos 40 minutos para desplegar y montar las piezas planas de plástico troquelado (*derecha*) que se guardan en el interior de la caja, que dan como resultado esta estructura compleja.



Volúmenes de producción

Desde lotes pequeños de unas cien unidades hasta miles.

Precio unitario frente a inversión de capital

El bajo coste de las herramientas de corte hacen que este método sea muy económico, incluso en producciones pequeñas. Se pueden tratar las láminas una a una, pero si el material viene en rollos, el producto final experimentará un gran abaratamiento de los costes de producción.

Velocidad

El troquelado es uno de los procesos más comunes en la fabricación de embalajes. Los tiempos de los ciclos de producción alcanzan los miles de productos a la hora. A diferencia de los artículos moldeados, la velocidad del corte no se ve afectada por la complejidad de la forma. El montaje, no obstante, requiere más mano de obra.

Superficie

El tipo de superficie depende del material, y el perfil de corte, de todos modos, es limpio y preciso, y deja un radio finísimo allí donde la herramienta cortadora ha penetrado en el material. Como cabe esperar, las láminas pueden rematarse con diversas formas de estampado o grabado, o con una combinación de ambas cosas.

Tipos/complejidad de la forma

La complejidad de la forma depende en realidad del tamaño de los cortes. Puede ser difícil cortar hendiduras muy finas, de menos de 5 milímetros. Una de las cuestiones de diseño importantes es que hay que retirar el plástico sobrante alrededor de la pieza. También, que a veces es difícil desbarbar el plástico cuando los agujeros son muy finos.

Tamaño

La mayoría de los fabricantes no tendrán problema en cortar láminas de hasta 1.000 por 700 milímetros, y algunos superan incluso esas dimensiones y cortan directamente del rollo. Sin embargo, la elección de material se ve limitada si éste viene en rollos. Por otra parte, estampar sobre láminas grandes, por encima de los 1.000 por 700 milímetros, puede resultar difícil debido a que no hay demasiadas impresoras de gran tamaño.

Tolerancias

Tolerancias muy altas.

Materiales relevantes

A menudo se emplea el propileno debido a su capacidad para formar líneas de pliegue fuertes y consistentes. Otros materiales comunes son el PVC, el polietileno, el tereftalato (PET), el papel y todo tipo de cartones.

Productos habituales

El troquelado se usa abundantemente en la fabricación de embalajes, sobre todo cajas y cartonajes. Con este tipo de producto es necesario un montaje a fin de construir estructuras tridimensionales. Otras aplicaciones, más orientadas al producto, son las pantallas de lámparas, que requieren un montaje complejo (en la imagen), juguetes e incluso muebles.

Métodos similares

Para el corte de láminas planas, el láser (véase pág. 40) o el corte por chorro de agua (véase pág. 36).

Información complementaria

www.burallplastec.com

www.ambroplastics.com

www.bpf.co.uk



- Costes de montaje bajos y rentabilidad en producción de lotes.
- Combina fácilmente con las técnicas de impresión.
- Muchas formas en una única operación de corte.



- Los productos tridimensionales hay que montarlos a mano y se limitan a una serie de modelos estandarizados.

Corte por chorro de agua

TAMBIÉN LLAMADO mecanizado hidrodinámico

Ya desde mediados del siglo XIX, el chorro de agua se ha venido utilizando como método para la retirada de materiales durante las operaciones de minería. El proceso actual (que también se denomina mecanizado hidrodinámico) ha sido adaptado para producir un chorro de agua increíblemente fino –lo habitual es que sea de 0,5 milímetros– que se hace salir de una boquilla a una presión de entre

20.000 y 55.000 psi (libras por pulgada cuadrada) o, lo que es lo mismo, entre 138 y 379 megapascuales, velocidades que pueden llegar a duplicar la del sonido. El corte por chorro de agua produce un sesgo fino cuando se emplea sólo este elemento, si bien la utilización de algún abrasivo adicional, como el granate, permite la utilización del procedimiento para cortar materiales más duros.



Producto	silla Prince
Diseñadora	Louise Campbell
Materiales	etileno-propileno-dieno-monómero (EPDM) cortado por agua sobre metal cortado con láser y fieltro
Fabricante	Hay
País	Dinamarca
Fecha	2005

El diseño decorativo de esta silla ilustra el potencial del corte por chorro de agua a la hora de labrar figuras complejas en un material tridimensional.

Volúmenes de producción

El proceso no necesita mecanización y, por lo tanto, sirve lo mismo para trabajos de encargo que para grandes producciones.

Precio unitario frente a inversión de capital

Como no hay equipamiento mecánico y los diseños se extraen de archivos informáticos (CAD), los costes de montaje son bajos, evitándose así incrementos importantes del precio por unidad. También se pueden «encajar» las formas (*nesting*), disponiéndolas de un modo inteligente para maximizar la superficie de la plancha trabajada (como se haría en repostería al recortar la masa para hacer galletas).

Velocidad

Un chorro abrasivo puede cortar una plancha de titanio de 13 milímetros de grosor a un ritmo de 160 milímetros por minuto.

Superficie

El perfil de corte es parecido al que se obtiene con un chorro de arena, pero sin las rebabas características del corte con láser (véase pág. 40).

Tipos/complejidad de la forma

Como el dispositivo cortador funciona de forma parecida a una máquina trazadora o una burladora CNC, es posible labrar formas de gran finura y complejidad. No obstante, y debido al alta presión del agua, si las láminas de material son muy delgadas, éste puede curvarse o deformarse. Hay procesos como el corte por láser que evitan este problema, al prescindir de dicha presión.

Tamaño

La mayor parte del cortado industrial se hace sobre una bancada de corte, lo que limita el

tamaño del material utilizable. Los tamaños estándar alcanzan un máximo de unos 3 por 3 metros. En cuanto al espesor, el límite superior varía en función del material.

Tolerancias

El chorro puede tener una precisión de hasta 0,1 milímetros. Los materiales especialmente gruesos pueden hacer que el chorro registre leves oscilaciones con respecto a su punto de penetración.

Materiales relevantes

El corte por chorro de agua ofrece una amplia gama de posibilidades por lo que respecta a los materiales susceptibles de utilización, que incluyen el vidrio, el acero, la madera, el plástico, la cerámica, la piedra, el mármol y hasta el papel. Se usa incluso para cortar emparedados y otros alimentos. Dicho esto, hay que recordar que aquellos materiales con tenencia a absorber el agua no se prestan a este proceso.

Productos habituales

Piedras y paneles decorativos para arquitectura. Es un proceso que funciona muy bien en un entorno de inmersión. Así por ejemplo, se utilizó durante las operaciones de salvamento del submarino ruso *Kursk* en el año 2000.

Métodos similares

Este proceso se puede utilizar como alternativa al troquelado (véase pág. 34) y también como alternativa en frío al corte por láser (véase pág. 40).

Información complementaria

www.wjta.org

www.tmcwaterjet.co.uk

www.waterjets.org

www.hay.dk



- Proceso en frío, por lo que no calienta el material.
- No hay contacto con la herramienta, evitándose así la deformación de los perfiles.
- Para labrar detalles muy sofisticados sobre una gran variedad de materiales.



- En cortes especialmente gruesos, el chorro puede desviarse de su trayectoria original al penetrar en el interior del material.

Mecanizado por descarga eléctrica (EDM) con electrodo de hilo metálico y corte EDM mediante carnero

Mediada la primera década del siglo XXI, los diseñadores están redescubriendo el uso de la decoración de superficies como una forma válida de expresión en el campo del diseño. Así, se toman prestadas técnicas industriales de las aplicaciones de ingeniería y se utilizan para crear patrones de gran complejidad y con una capacidad decorativa que no desmerece en nada la de los motivos obtenidos de la naturaleza o de los cuentos clásicos.

Se han inventado numerosos métodos para labrar diseños complejos en materiales difíciles. Desde que el fenómeno de la electricidad fuera observado por vez primera en la octava década del siglo XVIII, los científicos se han servido de él para cortar y para mecanizar materiales. La técnica EDM con electrodo de hilo metálico se ha ido convirtiendo en un método cada vez más popular de mecanización aplicado a metales. Al igual que otros procesos como el corte por chorro de agua (véase pág. 36) y el corte por láser (véase pág. 40), el mecanizado por descarga eléctrica con electrodo de hilo metálico es un método para el cortado de materiales que no implica contacto. De uso menos habitual que los otros dos, pero mejor adaptado a los aceros de altísima dureza

y otros metales resistentes al corte (algunas aleaciones, los carburos y el titanio, por ejemplo), este proceso es capaz de conseguir el mismo nivel de complejidad.

Basado en un tipo de electroerosión por chispa, el mecanizado por descarga eléctrica (que también se denomina a veces mecanizado por chispa o, sencillamente, electroerosión) se utiliza para cortar metales muy duros y conductores de la electricidad por medio de chispas que funden el material. La chispa la genera un fino hilo –el electrodo– que sigue una ruta de corte programada (y determinada por un archivo CAD). No hay contacto entre el electrodo y el material, de suerte que la chispa salva la distancia y funde el metal. Al mismo tiempo se proyecta hacia el punto de fusión un chorro de agua desionizada que enfría el material y elimina los desechos.

Existe otro tipo de máquina para ejecutar el proceso EDM, el denominado carnero. Como indica el propio nombre, esta variante implica el uso de un electrodo de grafito mecanizado que va sujeto al extremo de un brazo (el ariete o carnero): éste, a su vez, se lanza contra la superficie del material que se quiere cortar.

Volúmenes de producción

Tanto el proceso como la forma se pueden controlar a mano por parte de un operario o mediante un archivo CAD, por lo que este sistema se adapta igualmente a la producción de piezas sueltas de encargo que a la fabricación automatizada en masa.

Precio unitario frente a inversión de capital

No precisa maquinaria.

Velocidad

Las máquinas EDM de última generación pueden cortar hasta 400 milímetros cuadrados por minuto, dependiendo de la resistencia eléctrica del material y, naturalmente, de su espesor. Una pieza de acero de 50 milímetros puede cortarse a una velocidad aproximada de 4 milímetros por minuto.

Superficie

El mecanizado por descarga eléctrica con hilo metálico es bien conocido por su capacidad de conseguir excelentes acabados.

Tipos/complejidad de la forma

El finísimo hilo del electrodo puede labrar formas muy complejas en los materiales más robustos.

Tamaño

Dependiendo del material, del tamaño del generador y de la potencia eléctrica, el proceso es capaz de seccionar enormes

bloques de metal de un grosor que puede alcanzar nada menos que 500 milímetros, si bien una operación de esa escala consumiría mucho tiempo e implicaría una velocidad de corte inferior a 1 milímetro por minuto.

Tolerancias

Esta técnica tiene una precisión altísima y puede conseguir tolerancias submicrométricas.

Materiales relevantes

Sólo se puede usar con metales conductores. El proceso resulta ideal para metales duros, pues dicha dureza no influye en la velocidad de corte.

Productos habituales

Uno de los grandes mercados que tiene este proceso industrial son las máquinas estampadoras y cortadoras de gran dureza que se utilizan en la producción industrial. Otras aplicaciones incluyen la fabricación de componentes de gran resistencia para la industria aeroespacial.

Métodos similares

El corte por láser (véase pág. 40) y el mecanizado por haz de electrones (EBM) (véase pág. 18).

Información complementaria

www.precision2000.co.uk

www.sodick.com

www.edmmachining.com



- Ideal para recortar formas complejas en metales que se resisten al mecanizado.
- Es un proceso que corta sin necesidad de aplicar fuerza.
- No precisa limpieza por flushing.



- Requiere bastante tiempo.
- Sólo se puede aplicar a materiales conductores de la electricidad.

Corte por láser

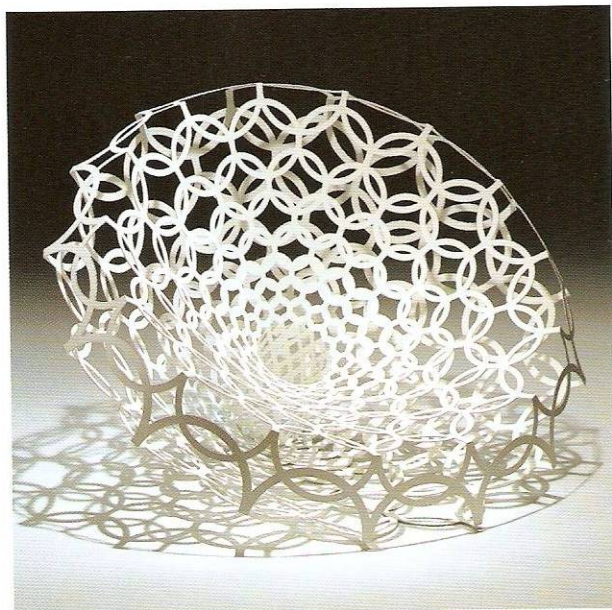
con mecanizado por rayo láser

Parecido al corte por chorro de agua (véase pág. 36) y al mecanizado por haz de electrones (véase pág. 18), el corte por láser es un proceso para cortar y decorar materiales que no provoca desprendimiento de virutas. Resulta un método muy preciso que se basa en la información suministrada por un archivo CAD. En pocas palabras, su principio de funcionamiento consiste en un rayo

de luz enfocado con gran exactitud que genera millones de vatios de energía por centímetro cuadrado y va fundiendo el material que encuentra a su paso.

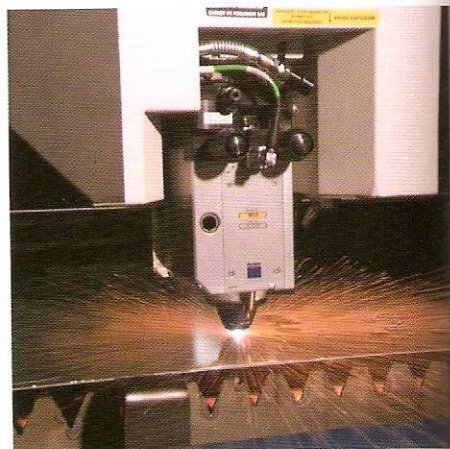
El mecanizado mediante láser es una forma de corte que, usando este rayo y a un cabezal multieje, secciona objetos tridimensionales. Un archivo CAD proyecta rutas complejas para el poderoso rayo de luz, lo que genera diseños de gran finura y precisión.

Ambos procesos son capaces de cortar componentes con una precisión que sería imposible utilizando maquinaria convencional. Dado que ninguno de los dos métodos implica contacto con el material que se está cortando, la sujeción requerida es mínima.



Producto	butaca superredonda
Diseñadora	Louise Campbell
Materiales	acero
Fabricante	Zanotta
País	Italia
Fecha	2006

El carácter muy decorativo de esta butaca denota una gran atención a las posibilidades de labrar diseños muy complejos en materiales duros. El uso de estas técnicas en el diseño de mobiliario abre la puerta a nuevas aplicaciones para el mecanizado por láser.



1 Cabezal de corte por láser siguiendo una trayectoria a partir de un archivo CAD.



Volúmenes de producción

Apropiado para la producción de lotes.

Precio unitario frente a inversión de capital

Baja inversión de capital al no haber maquinaria convencional (los cortes vienen determinados por un archivo de ordenador).

Velocidad

Como con todos los métodos de corte, la velocidad depende del tipo de material utilizado y del espesor de éste. Grosso modo, las aleaciones de titanio de entre 0,5 y 10 milímetros de espesor se pueden cortar a un ritmo de entre 2,5 y 12 metros por minuto.

Superficie

El proceso deja marcas de quemado en la madera, pero si se aplica a metales puede producir perfiles muy limpios sin necesidad de postacabado. No obstante, las superficies metálicas han de estar sin pulir antes del corte, ya que las superficies muy pulidas actúan como reflectantes y atenúan la eficacia del proceso.

Tipos/complejidad de la forma

Según la maquinaria usada, el láser puede ir montado sobre el plano horizontal o bien fijado a un cabezal multieje, lo que permite labrar formas muy complejas en tres dimensiones mediante un método que se llama a veces mecanizado por rayo láser.

Tamaño

Limitada en función de las dimensiones estándar de las chapas.

Tolerancias

Son altísimas, pudiéndose hacer orificios de hasta 0,025 milímetros de diámetro.

Materiales relevantes

Se suele utilizar para cortar aceros de gran dureza, como el acero inoxidable y el acero al carbono. Más difícil resulta aplicar esta técnica al cobre, el aluminio, el oro y la plata, debido a la capacidad que tienen estos metales de conducir el calor. También se pueden cortar por láser materiales no metálicos, como maderas, papel, plásticos y cerámica. El vidrio y la cerámica, por ejemplo, se prestan muy bien al corte por láser, y de hecho resultaría difícil modelar en ellos patrones de gran complejidad usando otras técnicas.

Productos habituales

Componentes de modelos, instrumental quirúrgico, juguetería en madera, mallas y filtros metálicos. Los materiales cerámicos cortados por láser se pueden usar como aislantes industriales, y también es posible fabricar muebles utilizando vidrio o metal.

Métodos similares

Corte por chorro de agua (véase pág. 36), troquelado (véase pág. 34), mecanizado por haz de electrones (EBM) (véase pág. 18) y corte por arco eléctrico con plasma (véase pág. 27).

Información complementaria

www.miw1.org.uk

www.aillu.org.uk

www.precisionmicro.com



- No hay desgaste de maquinaria, apenas hace falta sujeción y el corte es consistente y muy preciso.
- Adecuado para diversos materiales.
- No hay que hacer postratamiento de perfiles.



- Requiere un espesor óptimo en los materiales sometidos a corte: más allá de ese espesor, puede haber problemas.
- Con grandes producciones, el proceso puede consumir mucho tiempo, por lo que resulta más apropiado reservarlo para fabricar unidades de encargo o lotes.

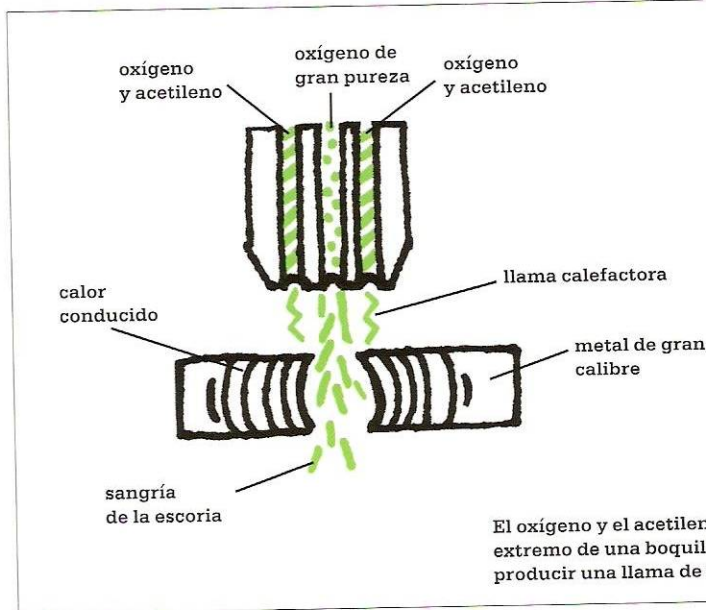
Corte con oxiacetileno

TAMBIÉN LLAMADO oxicorte o soldadura por llama de gas

Se trata de un proceso que sirve para cortar placas metálicas: la combinación de oxígeno y acetileno al final de una boquilla hace que estos componentes se inflamen y produzcan una llama de alta temperatura. Se precalienta el material con la mezcla de gases y a continuación se inyecta en el centro de la llama una corriente de oxígeno de gran pureza que causa la rápida oxidación de la pieza de trabajo. Dado que los métodos de corte térmico se basan en una reacción química entre el oxígeno y el hierro

(o titanio), los materiales finos o estrechos no se prestan a este proceso, debido a que el calor puede deformarlos.

Este método de corte se puede ejecutar bien manualmente o de forma automatizada. Cuando la operación es manual, la imagen tradicional del proceso es la del típico operario vestido con un mono de trabajo y máscara. De todas formas, semejante puesta en escena se corresponde más frecuentemente con la operación de soldado que con la de cortado.



El oxígeno y el acetileno se mezclan en el extremo de una boquilla y se inflaman para producir una llama de alta temperatura.



Volúmenes de producción

Si se lo compara con otras alternativas para seccionar metales gruesos, el corte térmico resulta un proceso económico en la producción de lotes pequeños.

Precio unitario frente a inversión de capital

A menos de que se introduzca una plantilla de corte, el proceso no requiere maquinado. Si la operación está automatizada, la información relativa a la forma es aportada por archivos CAD. Estos dos factores implican una rebaja de costes.

Velocidad

La velocidad depende mucho del tipo de material utilizado y el grosor. El proceso se puede ejecutar manualmente o puede estar muy automatizado mediante sistemas de multisoplete dirigidos por ordenador. Las velocidades pueden alcanzar incluso los 3 metros por minuto.

Superficie

Se puede controlar el corte para producir distintas clases de superficie en función de la relación entre el coste y la calidad del perfil. En otras palabras, las operaciones de corte más largas equivalen a un mejor acabado de los perfiles. El acabado de un perfil viene determinado asimismo por el material, aunque generalmente es el corte de arco eléctrico con plasma (véase pág. 27) el procedimiento que proporciona un mejor acabado.

Tipos/complejidad de la forma

Este proceso resulta óptimo para materiales de gran calibre. Los metales de menos de 8 milímetros pueden deformarse por la acción del calor intenso, y lo mismo puede ocurrir con secciones muy estrechas. Como

ocurre en todas las operaciones de corte de chapa, encajar una forma con otra para optimizar el espacio entre forma y forma (como cuando se corta la masa para hacer galletas) economiza material (*nesting*). El corte se realiza por lo general a 90 grados de la placa. También pueden conseguirse ángulos diferentes, aunque disponer la operación a tal efecto no es tan fácil con el oxicorte como lo es cuando se corta con plasma.

Tamaño

Si se usan herramientas de corte portátiles, no hay tamaño máximo, mientras que en la versión automatizada del proceso, el tamaño de las piezas está limitado por las propias dimensiones de la maquinaria.

Tolerancias

Dependen del espesor del material, pero por regla general oscilan entre $\pm 1,5$ milímetros en el caso de materiales de entre 6 y 35 milímetros de espesor.

Materiales relevantes

El uso de esta técnica queda limitado a los metales ferrosos y el titanio.

Productos habituales

Construcción pesada, como por ejemplo astilleros y componentes mecánicos.

Métodos similares

Mecanizado por haz de electrones (EBM) (véase pág. 18), corte de arco eléctrico con plasma (véase pág. 27), corte por láser (véase pág. 40) y corte por chorro de agua (véase pág. 36).

Información complementaria

www.aws.org
www.twi.org.uk
www.iiw-iis.org



- Válido para cortar placas de metal gruesas.
- Adaptable a uso manual o automatizado.



- Reducido espectro de materiales susceptibles de cortarse por este método.

Conformado de chapa metálica

La producción de objetos a partir de chapa metálica es uno de los métodos de fabricación más antiguos. Los egipcios, por ejemplo, transformaban los metales preciosos blandos, como el oro, en láminas, que luego recortaban formando intrincados dibujos.

Una de las aplicaciones más sofisticadas del conformado de chapa metálica la encontramos en la fabricación de un silbato común. Esta actividad, que entra en la categoría genérica de conformado sólido, implica una auténtica técnica industrial, un proceso en varias

fases basado en la conversión de una chapa en un objeto tridimensional mediante operaciones de corte, embutición (véase corte de metales, pág. 51) y, finalmente, revestimiento de láminas de latón. Sin embargo, esta descripción sumamente simplificada del proceso enmascara el hecho de que se trata de un método de fabricación industrial que tiene una enorme precisión y requiere altísimos niveles de tolerancia si se quiere dotar a los silbatos de un sonido perfecto.

La geometría básica del cuerpo de un silbato consta de tres partes: la parte inferior, la boquilla y el bloque –a su vez, compuesto por la parte superior y los laterales–. Las piezas de latón son estampadas en frío para formar elementos planos y a continuación se las embute utilizando una horma positiva y otra negativa. Los componentes resultantes se sueldan, se pulen y se niquelan. Y un último paso: a través de la boquilla se introduce a presión un garbanzo de corcho.

En los instrumentos de viento, el sonido es siempre resultado del flujo del aire a distintas velocidades por encima de un borde muy afilado, lo que produce dos columnas vibrantes de dicho aire. Con 135 años de existencia, la empresa Acme Whistles, radicada en la ciudad de Birmingham, ha convertido este proceso de alta precisión en un verdadero arte, con una tasa de piezas rechazadas de sólo un 3 por ciento. Si tenemos en cuenta la probabilidad que existe de que la más mínima –y a veces invisible– imperfección produzca un sonido inadecuado, estamos ante una verdadera hazaña de la artesanía industrial.



Producto	silbato modelo Thunderer
Diseñador	Joseph Hudson
Materiales	latón niquelado (en la imagen se ve el latón antes del niquelado)
Fabricante	Acme Whistles
País	Reino Unido
Fecha	1884

Aquí vemos el silbato Thunderer de Acme antes de su montaje y, por lo tanto, sin el revestimiento de níquel. De esta forma podemos apreciar los distintos componentes, previamente conformados, que son necesarios para obtener el producto final.



Volúmenes de producción

Es un método semiautomatizado, por lo que puede usarse con volúmenes de producción muy diversos.

Precio unitario frente a inversión de capital

Varía enormemente en función del montaje y el volumen de producción necesarios. Los fabricantes de piezas de joyería, por ejemplo, pueden usar herramientas muy sencillas que precisan de poca inversión. Por el contrario, sería necesario invertir millones de euros para montar un proceso de producción como el requerido por el silbato de la imagen.

Velocidad

Varía también en función del sistema de producción. Son necesarios tres días para fabricar el silbato Thunderer.

Superficie

En términos generales, depende del acabado de la chapa, aunque con frecuencia hay que pulir y pintar.

Tipos/complejidad de la forma

La propia naturaleza de este tipo de sistema de producción permite construir hormas de conformado capaces de acomodar toda una gama de formas bastante complejas.

Tamaño

En el conformado de chapa metálica no podemos hablar de un tamaño máximo.

Tolerancias

Pueden ser muy altas. Para conseguir que el silbato emita el sonido perfecto, las tolerancias han de ser de aproximadamente $\pm 0,0084$ milímetros.

Materiales relevantes

Los metales blandos como el latón, el cobre y el aluminio son especialmente fáciles de conformar, aunque se puede utilizar cualquier chapa metálica.

Productos habituales

El conformado de chapa metálica se utiliza para producir toda una serie de productos en diversas actividades industriales, desde instrumentos musicales de metal hasta carcasas de ordenador y carrocerías de automóviles.

Métodos similares

Otros procesos capaces de dar forma a una chapa plana de metal pueden ser los siguientes: el entallado o torneado de metales (véase pág. 48), el estampado y el punzonado (véase corte de metales, pág. 51), el corte por chorro de agua (véase pág. 36), el corte por láser (véase pág. 40) y el plegado CNC, un proceso en el que la chapa, generalmente de metal, se pliega para darle diferentes formas (piénsese, por ejemplo, en una lata de galletas).

Información complementaria

www.acmewhistles.co.uk



- Lo más atractivo de este proceso reside en que permite la creación de una forma compleja con un componente de enorme precisión.
- Costes de maquinado razonables.



- Sólo se puede usar con chapas.
- El producto quizás tenga que pasar por varias fases de producción.

Reposado del vidrio

La técnica consiste en dejar que el vidrio adquiera forma por su propio peso. Mucha gente sabe que si se deja reposar una lámina de vidrio durante mucho tiempo, su forma se ira alterando lentamente. Sin embargo, hay que calentar el vidrio hasta una temperatura lo suficientemente alta como para que adquiera un estado elástico. Ello permitirá su deformación a un ritmo económico o, al menos, a una velocidad mucho mayor de la que sería posible sin la aplicación de calor. Cuando una lámina de vidrio rígido se coloca en un horno sobre un molde refractario y se calienta a una temperatura de 630 °C, el vidrio se relaja lo bastante como para ablandarse y adquirir una forma que, una vez enfriado, se convertirá en permanente.



Para moldear la mesa de la marca Fiam que aparece en la imagen, en primer lugar se corta una lámina de cristal tosco de 12 milímetros. El proceso computerizado emplea un chorro de agua, mezclada con un polvo abrasivo, que pasa a una velocidad de 1.000 metros por segundo a través de una diminuta boquilla. Una vez que están ya cortadas las piezas planas, se pasa a la operación de curvado.

Tanto la pieza completa como el molde refractario han de alcanzar el mismo punto crítico de fusión, ya que hasta la más mínima variación de temperatura puede romper la lámina. A la temperatura correcta, el vidrio se ablanda lo suficiente como para ceder bajo su propio peso y hundirse en el molde con un poquito de ayuda manual. La aparente simplicidad de los productos de la empresa Fiam oculta un complejo proceso de calentado que ha de estar regulado con suma precisión para que el vidrio mantenga exactamente la temperatura justa en el horno de curvado. Aunque estos artículos parezcan muy simples de concebir y presenten formas muy sencillas, esta aparente simplicidad sólo se consigue (con una elevada tasa de éxito) mediante el uso de una sofisticada tecnología.

Producto	mesita Toki
Diseñador	Setsu y Shinobu Ito
Materiales	vidrio flotado
Fabricante	Fiam Italia
País	Italia
Fecha	1995

El radio completo de la curva superior de esta mesa, así como las suaves curvaturas de sus patas, apuntan a la simplicidad de formas que se puede obtener mediante el reposado del vidrio.



Volúmenes de producción

El reposado del vidrio es un tipo de proceso que se adapta por igual a la producción individual de encargo y a la fabricación por lotes.

Precio unitario frente a inversión de capital

La mayoría de moldes distribuidos comercialmente son de arcilla vítrea o acero inoxidable, aunque también se puede usar yeso, cemento o incluso objetos fundidos para pequeños volúmenes de producción. Dependiendo de la complejidad de la forma, el proceso puede acarrear altas tasas de piezas fallidas y, por consiguiente, altos costes unitarios.

Velocidad

Aunque se trata de un proceso industrial, la velocidad de conformado es bastante lenta. Se trata, además, de un método que continúa precisando un grado considerable de operaciones manuales.

Superficie

Se pueden conseguir superficies completamente lisas, así como texturas susceptibles de incorporarse al molde.

Tipos/complejidad de la forma

Éste es un proceso que se asienta sobre el principio de la gravedad, con lo que se puede conseguir cualquier forma que se pueda modelar a partir de una lámina plana y tenga caída vertical.

Tamaño

Las únicas restricciones las imponen las dimensiones de la lámina de vidrio y del horno que proporciona el calor.

Tolerancias

Debido a lo difícil que resulta que el vidrio se amolde en ángulos fijos, y por la propia expansión de este material, puede ser complicado conseguir tolerancias exactas.

Materiales relevantes

La mayoría de los vidrios planos (incluido el borosilicato), el vidrio sodocálcico y materiales sofisticados como el cuarzo fundido y el vidrio cerámico.

Productos habituales

Artículos domésticos como fuentes, platos, revisteros, mesas, sillas y vajilla de mesa. Entre las aplicaciones industriales hay que citar los parabrisas de automóviles, los reflectores de luz o las ventanas para chimeneas y hornos.

Métodos similares

Existe una variante de este proceso consistente en cubrir el molde con el vidrio, más que conseguir que éste se acomode dentro de dicho molde (drapeado).

Información complementaria

www.fiamitalia.it

www.rayotek.com

www.sunglass.it



- Permite, en una única operación, conformar una lámina de vidrio hasta convertirla en una figura tridimensional.



- Es un proceso lento que, además, puede requerir mucha destreza y experiencia para conseguir con él un diseño mediante un método de trabajo basado en el tanteo.

Torneado de metales

incluye el repujado cortante
y el torneado de flujo

El torneado es una técnica ampliamente utilizada para curvar chapas metálicas. Como el propio nombre da a entender, el proceso consiste en tornear un disco plano de metal –la pieza en tosco– e irlo empujando, para seguidamente envolverlo alrededor de un mandril

o husillo giratorio. El resultado son formas curvas de poco espesor.

En primer lugar, se embrida una lámina plana de metal (la pieza en tosco) al husillo y, a continuación, ambos elementos se hacen girar a gran velocidad en la misma dirección.



Producto	pantalla de lámpara Grito
Diseñador	El Último Grito
Materiales	aluminio con exterior anodizado
Fabricante	Mathmos
País	Reino Unido
Fecha	2003

Existen miles de productos que se fabrican mediante el torneado de metales, pero lo que destaca de esta lámpara «torneada» es el proceso adicional de corte por láser al que se ha sometido el material. De este modo se ha creado la sección recortada y «sexy» de la pantalla que nos muestra un corte transversal del torneado: una vista que generalmente queda oculta.

Volúmenes de producción

Desde prototipos individuales hasta producción en lotes con varios miles de unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

Las herramientas necesarias para empujar la pieza y los mandriles están hechos de madera o metal, dependiendo la elección del tamaño del producto y de la cantidad requerida. Para la producción de un número bajo de unidades es lógico recurrir a mandriles de madera de precios asequibles, pero para producciones grandes el metal es una opción más adecuada, pues la madera está sometida a un desgaste mayor.

Velocidad

Los tiempos empleados en el ciclo de producción son superiores a los de la embutición (corte de metales, véase pág. 51), pero los tiempos requeridos para el montaje del sistema son bastante más cortos, por lo que el torneado de metales resulta un procedimiento adecuado para el prototipado, la fabricación de productos individuales por encargo y la producción de lotes pequeños o de rango intermedio.

Superficie

Una superficie torneada puede requerir pulido para eliminar las marcas testigo que quedan sobre la superficie externa de la pieza.

Tipos/complejidad de la forma

En realidad, esta técnica sólo sirve para fabricar formas simétricas tomando como punto de partida una chapa metálica. Formas típicas resultantes de este proceso son los discos, conos, hemisferios, cilindros y anillos. Los rebajes y ángulos entrantes se consiguen mediante un mandril partido que se separa como los gajos de una naranja para liberar la pieza. Las formas cerradas, como las esferas huecas, se consiguen uniendo dos mitades.

Tamaño

Los productos del metal torneado pueden ser fabricados con diámetros inferiores a los

10 milímetros. En el otro extremo de la escala, la firma estadounidense Acme Metal Spinning ha fabricado una forma que mide casi 3,5 metros de lado a lado.

Tolerancias

Puesto que el metal sufre un estiramiento en torno al mandril, el espesor de la pieza se ve afectado durante el proceso de torneado. Cuanto más plana sea la forma, menos habrá que estirar el metal.

Materiales relevantes

Esta técnica se puede aplicar a diversos metales que van desde los cobres blandos y dúctiles y el aluminio (los más comunes) hasta el duro acero inoxidable.

Productos habituales

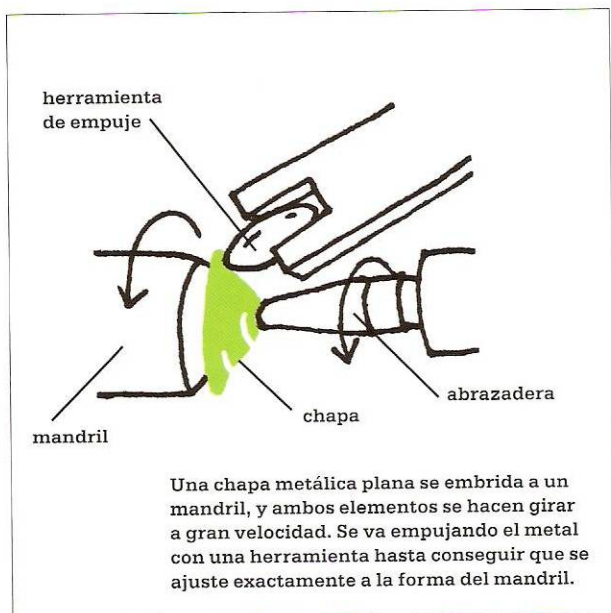
La sartén china o wok es un buen ejemplo de artículo fabricado mediante el torneado de metales: de hecho, en las líneas concéntricas que hay sobre su cara externa tenemos la prueba de que éste es el procedimiento utilizado. Otros productos pueden ser pies y pantallas de lámparas, cocteleras, urnas y un sinfín de productos industriales.

Métodos similares

Es frecuente que el torneado de metales se combine con otras técnicas para fabricar productos más complejos. Por ejemplo, las piezas conformadas por embutición se suelen tornean para crear cuellos, rebordes y formas acampanadas. Aunque mucho menos habitual que el torneado, el conformado progresivo de chapa (véase pág. 229) es un proceso nuevo que permite crear una gama de formas complejas a partir de chapa metálica y mediante la utilización de una única herramienta.

Información complementaria

www.centurymetalspinning.com
www.acmemetalspinning.com
www.metalforming.com
www.metal-spinners.co.uk



El metal así torneado se va empujando con una herramienta (en la operación manual se llama a veces «cuchara») contra un mandril de madera hasta que encaja en la forma de éste. La pieza resultante es, por lo tanto, una copia de la forma externa del mandril. Sin variar la disposición del sistema, se pueden ejecutar varias operaciones, y conseguir piezas de perfiles cóncavos (rebajes). Por ello, el perfil del diseño en relación con el eje geométrico no tiene limitaciones, aunque siempre será simétrico.

El repujado cortante y el torneado de flujo son formas avanzadas del torneado de metales que se pueden utilizar para alterar deliberadamente el espesor de las piezas metálicas hasta en un 75 por ciento. Resulta ideal para piezas huecas cóncavas, cónicas y convexas.



- El torneado de metales es una forma muy flexible de producción en masa que también se presta a la producción en lotes pequeños.
- Bajos costes de mecanizado.
- Puede generar formas complejas sin necesidad de retirar (cortar) material adicional ni de recurrir a procesos de unión complementarios.



- Algunos materiales se endurecen durante el proceso de torneado.
- Este método suele requerir postacabado.
- El proceso procura un control limitado del espesor de las paredes de la pieza a causa del modo en que el material se estira ligeramente por encima del molde.

Corte de metales

incluye la embutición, el cizallamiento, el recortado, el punzonado, el curvado, el perforado, el muescado y el estampado

En la industria del metal, el término «cortar» no se usa casi nunca, ya que desde el punto de vista técnico es una designación tan amplia que prácticamente carece de significado. Los procesos de corte se pueden dividir en dos categorías principales: aquellos que desprenden virutas y los que no lo hacen. Embutición, cizallamiento, recortado, punzonado, curvado, perforado, muescado y estampado son todos términos que de una u otra forma designan el conformado de chapa metálica sin desprendimiento de virutas. Otros métodos como por ejemplo el fresado (véase mecanizado, pág. 12) y el torneado (véase pág. 20), por el contrario, sí son técnicas de desbastado que implican la formación de virutas.

El punzonado y el recortado se parecen mucho en el sentido de que ambos procedimientos implican la retirada de parte de una chapa para hacer un agujero. La diferencia estriba en que el punzonado se usa para fabricar chapas en las que se han recortado formas, mientras que el recortado propiamente dicho es un método que sirve para fabricar formas independientes, parecido al que se usa en repostería para hacer muchas galletas a partir de una masa. El disco metálico que constituye el punto de partida para la fabricación de la tapa superior de las latas de bebidas (en la imagen) se fabrica normalmente mediante una técnica de recortado.

El muescado se usa para cortar una chapa mediante mordiscos sucesivos que hace un pequeño punzón, subiendo y bajando como en una máquina de coser. El cizallamiento implica un punzón perforador y un dado. Requiere un control



Producto	sistema de apertura de anilla para lata de bebida
Materiales	aluminio
Fabricante	Rexam
País	Reino Unido

He aquí un producto de nuestra vida cotidiana que, al tiempo de ser muy barato, no puede fallar nunca ni causar un corte en el labio del consumidor. La embutición y el cizallamiento son sólo dos de los métodos utilizados en la fabricación de este producto omnipresente hoy en día.

muy preciso del espacio entre ambos elementos, a diferencia del punzonado simple, donde no hay dado. Por último, el significado de los términos «perforado» y «curvado» está bastante claro.

El estampado de metales es un proceso de conformado en frío que se

usa para producir productos huecos a partir de una chapa de metal. Aunque cortar y conformar chapa es bastante sencillo, incluye diversas variantes, todas las cuales implican procesos de punzonado y conformado que son sucesivos pero realizados en una única intervención. Para cada una de estas

operaciones se necesita un único dado, aunque también se puede retirar el objeto y colocarlo en otro dado para efectuar un conformado adicional. Los dados progresivos (algo así como una colección de dados) se utilizan en procedimientos más complejos para ejecutar actuaciones múltiples.



Volúmenes de producción

El proceso se puede usar para producciones manuales o bien para producciones automatizadas de gran volumen con CNC.

Precio unitario frente a inversión de capital

Se pueden rebajar, o eliminar, los costes de mecanizado sirviéndose de las punzonadoras o cortadoras que ya están a disposición del fabricante, con lo que sería posible conseguir altos volúmenes de producción con bajos costes de capital.

Velocidad

Varía enormemente, aunque, por dar un ejemplo, es posible fabricar 1.500 anillas por minuto para latas de bebida.

Superficie

Por lo que respecta al acabado, estas técnicas de corte suelen precisar rebabado.

Tipos/complejidad de la forma

Estos métodos se usan sobre todo para la fabricación de productos pequeños. El espesor viene limitado por las dimensiones estándar de las chapas disponibles.

Tamaño

Limitada por las dimensiones estándar de las chapas metálicas.

Tolerancias

Se pueden conseguir tolerancias altas.

Materiales relevantes

Procedimientos sólo aplicables a chapa metálica.

Productos habituales

Hojas de ventilador para equipos electrónicos, arandelas, cerraduras y componentes de relojería.

Métodos similares

El corte por láser (véase pág. 40) y el corte por chorro de agua (véase pág. 36) son dos métodos sin desprendimiento de virutas que se pueden usar igualmente para producir diseños a partir de programas con CNC sin introducir costes de mecanizado.

Información complementaria

www.pma.org

www.nims-skills.org

www.khake.com/page88.html



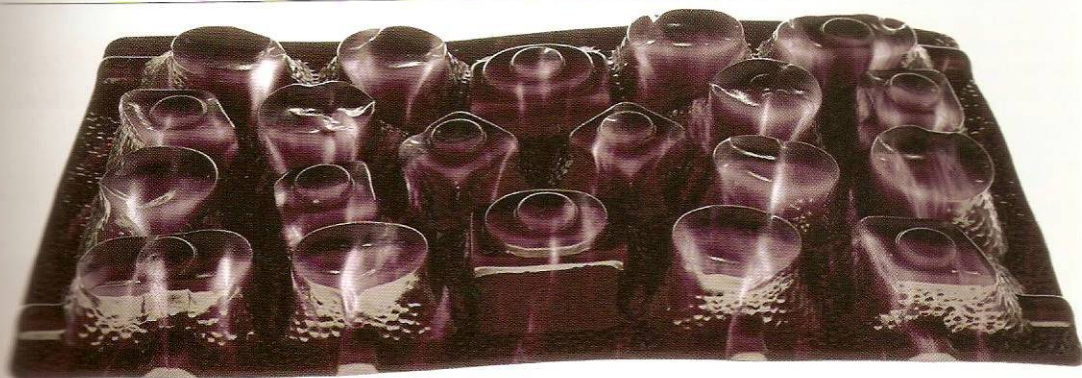
- Procedimientos muy versátiles de cara a la producción de diferentes formas.
- Se pueden aplicar a cualquier metal sólido.
- Alto grado de precisión.



- Las piezas pueden verse limitadas por los tamaños estándar del material.
- El índice de aprovechamiento del material puede ser bajo debido a los abundantes desechos.

Termoformado

incluye el moldeo por vacío, el moldeo a presión, el moldeo por drapeado y el termoformado con pisadores



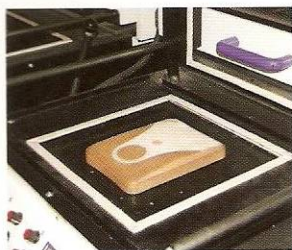
El termoformado es uno de los métodos más frecuentes de fabricación de productos plásticos. Cualquier estudiante de Bellas Artes que haya hecho el típico curso preparatorio habrá usado una máquina para moldeo por vacío, y justamente este moldeo es uno de los pocos métodos de conformado de plásticos que resulta accesible por igual a los alumnos de enseñanza superior y al mundo de la producción industrial a gran escala. También constituye uno de los sistemas de fabricación más fáciles de entender.

Los materiales necesarios consisten en una lámina termoplástica y un molde

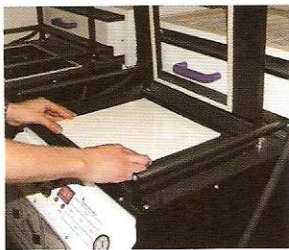
o matriz. Debido a que las presiones utilizadas son reducidas, el molde puede estar hecho de madera, aluminio u otros materiales de bajo coste. El molde, con la forma exacta de la pieza requerida, se coloca en el centro de una mesa de altura regulable. La lámina de plástico rígido se calienta entonces mediante una serie de barras de convección, que actúan como un horno doméstico hasta que el plástico se ablanda y se curva, volviéndose flexible. En este punto se alza el molde sobre su soporte y se le hace penetrar en la lámina blanda. Inmediatamente después, se le aplica un vacío. Una vez que el plástico se ha «pegado» al molde

Producto	bandeja para interior de caja de bombones
Materiales	polímero biodegradable de Plantic
Fecha	2005

Pocos ejemplos de termoformado son tan claros como el de una bandeja para el interior de una caja de bombones. Las formas de cada bombón equivalen a las del molde utilizado para fabricar estas bandejas.



1 El molde (en este caso, una sencilla forma de madera utilizada en un proyecto escolar) se coloca sobre el soporte.



2 Una vez que dicho soporte se ha hecho descender, se coloca encima la lámina de plástico que sujetará el bastidor de metal.



3 Se baja el calentador para colocarlo sobre la lámina plástica.

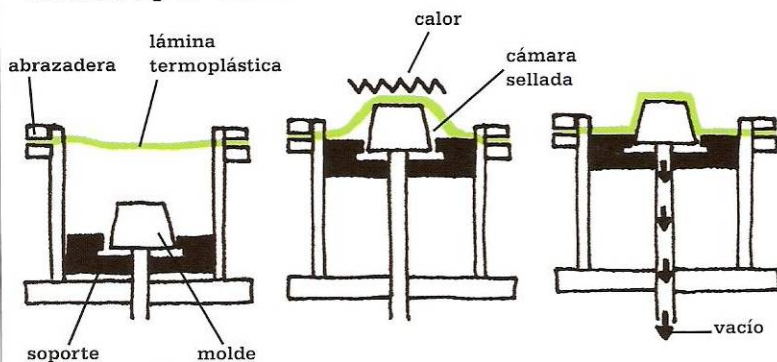


4 Se aplica un vacío a fin de obtener la forma.

y enfriado levemente ya puede retirarse para proceder al postacabado.

Otra variante del termoformado es el moldeo a presión, que funciona en sentido opuesto al moldeo por vacío, ya que se fuerza al material a penetrar en el molde. El drapeado, por su parte, consiste en recubrir con una lámina de plástico precalentado un molde macho, para a continuación estirar mecánicamente dicha lámina, cuyo espesor se mantiene cerca de los valores iniciales. El termoformado con pisadores utiliza estos últimos elementos para preestirar el plástico antes de introducir el vacío. De esta manera se consigue un mayor control sobre el grosor del material.

Moldeo por vacío



1 El molde se coloca encima del soporte y se introduce en el interior de la cámara que hay debajo.

2 Aquí se cubre con la lámina termoplástica, que va sujeta por un bastidor de metal. De esta manera se crea una cámara sellada.

3 La lámina de plástico se calienta desde arriba hasta que se vuelve flexible. Se eleva a continuación la matriz y se activa una bomba que extrae el aire de la cámara, succionando la lámina hasta que ésta se adhiere al molde.

4 Una vez que el plástico se ha «pegado» al molde y se ha enfriado un poco, se retira para proceder a su acabado.



Volúmenes de producción

Adecuado para producir los prototipos de los fabricantes de modelos y para piezas de encargo, pero también para la producción a gran escala.

Precio unitario frente a inversión de capital

Los moldes pueden construirse a partir de materiales diversos en función del número de componentes requeridos. La facilidad de su mecanizado y su resistencia al desgaste hacen del aluminio una opción adecuada para grandes producciones. Las resinas epoxi se utilizan como alternativa barata al aluminio, aunque en realidad se puede utilizar cualquier material, incluyendo aglomerados de densidad media (MDF), yeso, madera e incluso plastilina, que de hecho resulta excelente para el moldeo al vacío de formas con rebajes, ya que es posible sacarla después de las operaciones.

Velocidad

Se pueden fabricar bañeras, por ejemplo, a un ritmo de una cada cinco minutos. Aparte de esto, resulta difícil calcular la velocidad de producción, ya que el uso de matrices de moldes múltiples puede acelerar mucho todo el proceso. Además, hay que tener en cuenta que el espesor del material influye en el tiempo necesario para calentarlo adecuadamente.

Superficie

El moldeo por vacío reproduce muy bien los detalles de la superficie, por lo que el

acabado que tiene la propia superficie del molde se refleja en el de la pieza.

Tipos/complejidad de la forma

Hacen falta ángulos de inclinación lateral, ya que no se pueden conseguir rebajes con una maquinaria estándar.

Tamaño

Una abertura de 2 por 2 metros es lo más normal, aunque puede ser incluso mayor.

Tolerancias

Varían en función del tamaño de la pieza moldeada. A modo de orientación se puede decir que un molde de menos de 150 milímetros tendrá una tolerancia de 0,38 milímetros.

Materiales relevantes

La mayoría de los termoplásticos se distribuyen en forma de láminas. Ejemplos típicos son el poliestireno, el plástico ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), los acrílicos y los policarbonatos.

Productos habituales

Piraguas, bañeras, embalajes, muebles, guarnicionado para interior de coches y platos de ducha.

Métodos similares

Superformado de aluminio (véase pág. 56) e inflado de metales (véase pág. 62).

Información complementaria

www.formech.com

www.thermoformingdivision.com

www.bpf.co.uk/bpfindustry/process_plastics_thermoforming.cfm

www.rpc-groupag.com



- Útil por igual en producciones pequeñas y grandes.
- La presión requerida es baja, por lo que la maquinaria-herramienta puede resultar bastante barata.
- Proceso que se adecua a la tecnología IMD (decoración en molde).
- Se pueden fabricar muchas piezas usando una matriz de moldes múltiples.



- Requiere un proceso secundario para recortar la lámina.
- No hay lados verticales en la pieza acabada: es obligatorio usar ángulos de inclinación lateral.
- Pueden hacerse rebajes, pero se requiere una maquinaria especial.

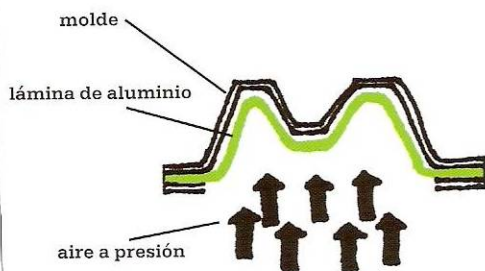
Superformado de aluminio

incluye los métodos de termoformado por cavidad, burbuja, contrapresión y diafragma

El proceso consistente en calentar una lámina de plástico, recubrir con ella un molde y succionar el aire existe desde hace ya algún tiempo (véase termoformado, pág. 53). Sin embargo, a medida que aumenta la velocidad con que se van desarrollando materiales nuevos, se producen más solapamientos tecnológicos, tanto en lo relativo a los materiales como en los procesos. El

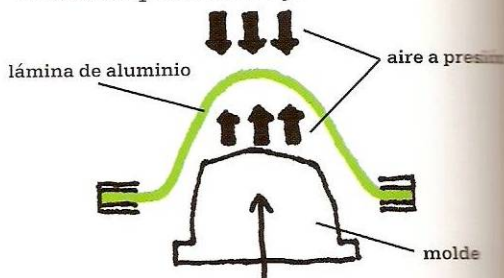
superformado es un ejemplo de este tipo de solapamientos, puesto que traslada el tradicional moldeo de materiales plásticos mediante vacío a las aleaciones de aluminio. El proceso se consigue por medio de cuatro métodos principales: el termoformado por cavidad, el moldeo por burbuja, el que se realiza por contrapresión y el termoformado por membrana

Moldeo por cavidad



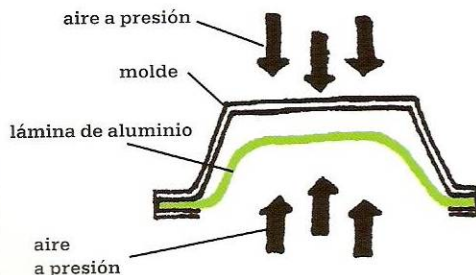
En el método por cavidad, el aire a presión empuja la lámina contra el molde.

Moldeo por burbuja



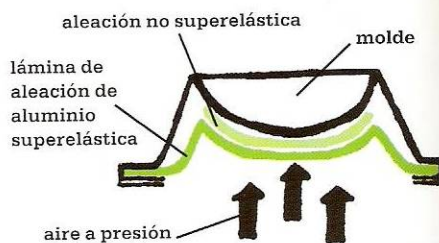
El aire a presión ejerce un soplado de la lámina que configura una burbuja. Se introduce entonces un molde en el interior de la burbuja y se aplica aire a presión desde arriba, obligando al material a adoptar la forma del molde.

Moldeo por contrapresión



En el moldeo por contrapresión se emplea la presión procedente de las superficies superior e inferior del molde.

Moldeo por diafragma



El aire a presión fuerza al aluminio superelástico calentado contra la aleación no superelástica, —también calentada—, que después recubre el molde.

o diafragma. El denominador común de todos ellos es el calentamiento de una lámina de aluminio hasta que alcanza los 450-500 °C en un horno de conformado presurizado, para luego forzarla a recubrir una herramienta de superficie simple –o a penetrar en ella– y generar así una forma tridimensional compleja.

En el método por cavidad se utiliza aire a presión para elevar la lámina a la fuerza y obligarla a entrar en la herramienta. Es un proceso que bien podríamos describir como «moldeo por vacío inverso». Según los fabricantes, se trata de un sistema ideal para moldear piezas grandes y complejas, como por ejemplo paneles de carrocería para vehículos.

En el moldeo por burbuja, la presión del aire obliga al material a formar una burbuja. A continuación, se inserta el molde dentro de la burbuja y se aplica aire a presión desde la parte superior, obligando así al material a tomar la forma del molde. El moldeo por burbuja está indicado para conformados profundos y de relativa complejidad,

difíciles de conseguir con los otros procesos de superformado.

El moldeo por contrapresión utiliza la presión tanto de la cara superior como de la inferior del molde a fin de mantener la integridad de la plancha de material y permitir por tanto el conformado de aleaciones difíciles.

El moldeo con diafragma es una técnica que permite el conformado de aleaciones «no superelásticas». Este material se «abrazo» al molde mediante la combinación de una lámina de aluminio «superelástico» calentado y aire a presión.

Producto	bicicleta MN01
Diseñadores	Marc Newson & Toby Louis-Jensen
Materiales	aluminio
Fabricante	Superform Aluminium
País	Reino Unido
Fecha	1999

Esta bicicleta es un buen ejemplo de la transferencia de procesos de fabricación industrial a los productos de consumo por medio de proyectos experimentales. Además, el texto grabado en relieve sobre el cuadro ilustra el grado de detalle que se puede conseguir.





Volumenes de producción

En la actualidad, las producciones de mil piezas se consideran grandes, pero también es posible la producción en masa, y algunos fabricantes de automóviles han empezado a usar el proceso a escala mayor.

Precio unitario frente a inversión de capital

Fuerte inversión de capital, sobre todo en mecanización y material, si bien los costes por unidad se reducen a medida que aumenta el volumen de producción.

Velocidad

Depende del material: algunas aleaciones se pueden moldear en un tiempo de entre tres y cuatro minutos, mientras que las aleaciones estructurales que se usan en la industria aeronáutica, por ejemplo, pueden requerir hasta una hora para completar el proceso de conformado.

Superficie

Excelente calidad de la superficie.

Tipos/complexidad de la forma

Depende de qué método concreto se utilice. El moldeo por burbuja permite el mayor grado de complejidad de la forma resultante, pero todos los procedimientos tienen como principio básico la creación de formas tridimensionales a partir de una lámina plana. Hay que pensar en la necesidad de usar ángulos de inclinación lateral a la hora de retirar las piezas del molde. No se recomiendan rebajes.

Tamaño

Cada método se adapta a distintas escalas y espesores de material. Por ejemplo, el

moldeo por contrapresión permite hacer piezas de hasta 4,5 metros aproximadamente. El moldeo por cavidad sólo sirve para procesar láminas de dimensiones menores, aunque éstas pueden alcanzar un espesor de 10 milímetros.

Tolerancias

Tolerancias características de ± 1 milímetro para las piezas más grandes.

Materiales relevantes

Este proceso está diseñado de manera específica para su aplicación a lo que se conocen como aluminios «superelásticos». No obstante, el moldeo con diafragma permite el procesamiento industrial de materiales no superelásticos.

Productos habituales

Un gran mercado para estas técnicas lo encontramos en las industrias aeroespacial y de automoción. Diseñadores como Ron Arad y Marc Newson las han aplicado a diversas piezas de mobiliario y bicicletas. En el metro de Londres, el arquitecto Norman Foster utilizó el superformado para fabricar los paneles que revisten los túneles de la estación de Southwark.

Métodos similares

Para plásticos, el moldeo por vacío (véase pág. 53), para vidrio, el reposado (véase pág. 46), y para metales, el inflado de acero inoxidable desarrollado por Stephen Newby (véase pág. 62).

Información complementaria

www.superform-aluminium.com



- Se pueden crear formas complejas dentro de un único producto.
- Sirve para distintos espesores de lámina.
- Capaz de crear detalles y formas de gran sutileza sin problemas de retorno elástico.



- Sólo es aplicable a las aleaciones de aluminio.

Conformado por explosión

TAMBIÉN LLAMADO conformado con alta energía

Se trata de un proceso realmente divertido que, en cierto modo, me recuerda un episodio de la serie *Mr. Bean*. En esta ocasión, el protagonista decide pintar el salón de su casa colocando un explosivo en el interior de una lata de pintura. Pues bien, aunque parezca inverosímil, el conformado por explosión es realmente un método muy bien consolidado para dar forma a chapas o tubos metálicos. Además, constituye

otro buen ejemplo de cómo el pensamiento lateral utilizado por los ingenieros se acaba plasmando en nuevos métodos de fabricación.

La primera utilización del conformado por explosión está documentada en 1888, fecha en que se usó para el conformado de grabados en plancha. Después, las dos guerras mundiales supusieron un período de intenso desarrollo que tuvo como resultado la transformación del



paneles arquitectónicos modelo Tormenta del Desierto	
Producto	
Materiales	aluminio con revestimiento ondulado
Fabricante	Exploform
País	Alemania
Fecha	Exploform BV se fundó en 1998

Estos paneles arquitectónicos ilustran el tamaño que pueden alcanzar estos elementos y los complejos diseños posibles, todo ello mediante el conformado por explosión.

conformado por explosión en un proceso fundamental para la fabricación, en los años cincuenta, de ojivas de misil. Actualmente, el conformado por explosión se da en dos variantes: mediante el procedimiento *stand off* (el explosivo se coloca a distancia del metal) y usando el «conformado por contacto», que implica un contacto directo entre el explosivo y el metal.

Simplificando, la chapa o tubo se coloca en la cavidad del dado o troquel sellada al vacío, que a su vez se sumerge en agua (a menos que utilicemos el método al aire libre). Se coloca entonces una carga explosiva debajo de la chapa y se hace detonar. La detonación propaga ondas de choque por el agua que rápidamente empujan el material al interior de la cavidad del dado.



Volúmenes de producción

El conformado por explosión puede usarse para encargos y proyectos individuales de tipo artístico, como esculturas o instalaciones, pero también para la producción en masa de componentes industriales. En la antigua Alemania del Este se utilizó en la fabricación de cientos de miles de ejes cardán para vehículos pesados.

Precio unitario frente a inversión de capital

Si es posible recurrir al estampado o al torneado tradicionales, éstas serían opciones normalmente más baratas. Sin embargo, los costes de maquinaria relativamente bajos y la aptitud para fabricar formas complejas hacen del conformado con cargas explosivas la mejor opción disponible.

Velocidad

Varía enormemente en función del tamaño y complejidad de la forma. A veces es posible fabricar veinte piezas pequeñas con una sola explosión, mientras que la producción de formas más grandes y complejas puede requerir hasta seis explosiones a lo largo de tres días. De todas formas, ya una sola explosión resulta una operación que requiere mucho tiempo debido a que la fase de preparación es bastante prolongada (más de una hora por explosión).

Superficie

Por lo general, la calidad de las superficies obtenidas con este método es extremadamente buena. Se puede, por

ejemplo, conformar acero inoxidable de clase 2G (con pulido químico) sin ni siquiera dañar la lámina protectora, produciendo así piezas con un perfecto acabado de espejo.

Tipos/complejidad de la forma

Ideal para el conformado de formas complejas con cavidades sin costuras.

Tamaño

Existen fabricantes que hacen planchas de níquel de nada menos que 13 milímetros de grosor y longitudes de hasta 10 metros. Los tamaños superiores sólo se consiguen mediante soldadura de planchas.

Tolerancias

Es un procedimiento capaz de mantener tolerancias de gran precisión.

Materiales relevantes

El conformado por explosión no está restringido a metales blandos como el aluminio, sino que abarca todo tipo de metales, incluidos el titanio, el hierro y las aleaciones de níquel.

Productos habituales

Grandes bojetos y paneles arquitectónicos así como componentes para las industrias aeroespacial y de automoción.

Métodos similares

Superformado de aluminio (véase pág. 56) e inflado de metales (véase pág. 62).

Información complementaria

www.exploform.com



Aunque esta imagen no muestra un primer plano del funcionamiento de este proceso, sí que nos da una idea de su escala y del entorno presurizado y sellado en que tiene lugar el conformado por explosión.



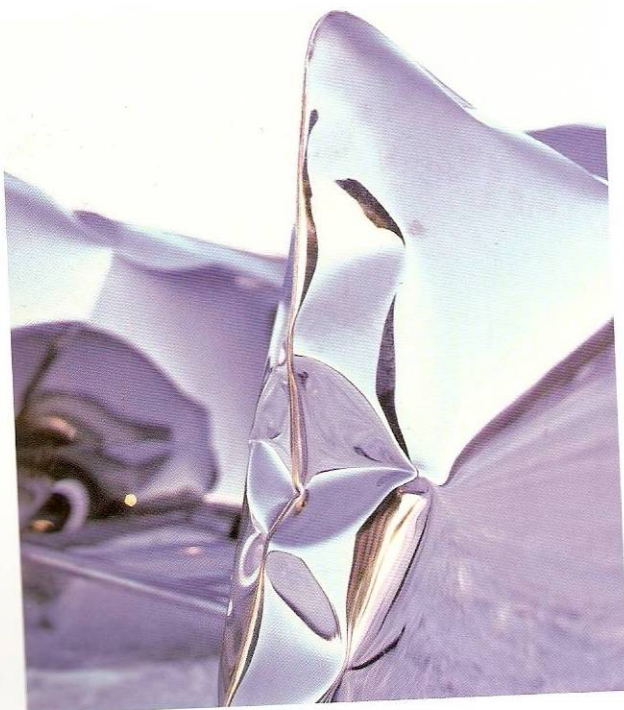
- Permite conseguir tolerancias de gran precisión.
- Costes de mecanizado rentables en comparación con otros métodos alternativos.
- Puede eliminar operaciones del proceso de fabricación, incluida la soldadura, debido a su capacidad para conformar piezas complejas.



- Existen pocos fabricantes que utilicen este método.
- La normativa de seguridad es muy estricta.

Inflado de metales

El aire es con frecuencia una materia clave en los distintos métodos de producción, por ejemplo, cuando se extrae para crear vacíos o se introduce de forma repentina en una preforma para fabricar botellas de plástico. Y en concreto, la técnica del soplado, que tiene miles de años, se usó por primera vez en la formación del vidrio. El diseñador británico Stephen Newby, sin embargo, ha puesto en práctica hace poco un método para el inflado de chapa de acero inoxidable que abre nuevas posibilidades de expresión visual con este metal duro.



La apariencia blanda de las formas infladas contrasta con la dureza y robustez del acero. El proceso (que en el momento de escribir estas líneas se encontraba a la espera de recibir la patente) implica literalmente el inflado de dos planchas de metal empareadas y selladas en sus bordes, todo ello sin utilizar moldes. Cada una de las piezas infladas, por lo tanto, responde de forma distinta y el resultado es un producto único. Por lo que respecta al tamaño, la única limitación de las piezas es la del tamaño original de las planchas. Se pueden utilizar aceros inoxidables de diversas texturas y colores: el material no sufre en el proceso porque el conformado del metal se hace desde dentro.

Producto	cojines de acero inoxidable inflado
Diseñador	Stephen Newby
Materiales	acero inoxidable
Fabricante	Full Blown Metals
País	Reino Unido
Fecha	2002

Las indentaciones de estos cojines son el resultado natural de los pliegues que desarrolla el material al ser inflado a partir de dos planchas de metal unidas en forma de sándwich.

Volúmenes de producción

Su aplicación preferente es para la producción de lotes.

Precio unitario frente a inversión de capital

No hay costes de mecanizado, aunque algunos diseños requieren prototipado.

Velocidad

La técnica del soplado (de la que el inflado de metales constituye sólo un ejemplo) es instantánea. El proceso está semiautomatizado y se ejecuta a velocidades distintas dependiendo del tamaño. Así, por ejemplo, si la pieza es un cuadrado de metal inflado de 10 centímetros, la velocidad de producción puede alcanzar los 30 cuadrados a la hora.

Superficie

Sirve para producir toda la gama de acabados de fábrica de alta calidad, incluyendo acabados espejados, colores, grabados, texturas y estampados en relieve.

Tipos/complejidad de la forma

A partir de plantillas planas bidimensionales es posible producir cualquier forma, como

diseños orgánicos, rotulación figurativa, formas blandas con pliegues al estilo de un cojín y formas blandas sin pliegues.

Tamaño

Desde 5 centímetros hasta el tamaño máximo de una plancha individual, que suele ser de 3 por 2 metros.

Tolerancias

5 milímetros por 1.000 milímetros en dimensiones totales.

Materiales relevantes

La mayoría de los metales, entre los que se incluyen el acero inoxidable, el acero dulce, el aluminio, el bronce y el cobre.

Productos habituales

Revestimientos y pantallas arquitectónicas, obras de arte públicas de gran escala, diseño de espacios exteriores (también con elementos acuáticos) y productos de corte contemporáneo destinados a interiores.

Métodos similares

Soplado manual del vidrio (véase pág. 98) y superformado de aluminio (véase pág. 56).

Información complementaria

www.fullblownmetals.com



- Sirve para crear formas únicas en metal.
- Alta relación resistencia/peso.
- El proceso se puede utilizar para conformar materiales de alta resistencia a la tensión.
- Se conservan los acabados de fábrica en el proceso de conformado.
- Es fácil conseguir dimensiones específicas sin necesidad de moldes u hormas.



- Sólo un fabricante ofrece este proceso.

Doblado de madera contrachapada



Producto	silla plegable Elica
Diseñador	Gudmunder Ludvik
Materiales	madera contrachapada. Soportes de las patas en acero tratado con chorro de arena
Fabricante	Lapalma
País	Italia
Fecha	2005

La estructura delgada y elegante de esta silla plegable demuestra que se puede conseguir robustez incluso con un material tan fino como la madera contrachapada.

La transformación de un árbol en un simple mueble de madera contrachapada implica no menos de 35 pasos. La técnica consistente en el laminado cruzado de chapas de madera para producir materiales rígidos y estables la asimilaron por primera vez los antiguos egipcios, que se sirvieron de este proceso para fabricar productos tales como sus sarcófagos. El desarrollo de la moderna madera contrachapada y doblada es el fruto de una serie de avances tecnológicos como son la capacidad de cortar la madera enchapada con gran precisión, las prensas para laminarla y las colas para montarla.

El procesamiento de la mayoría de las materias naturales tiende a concentrarse en sus lugares de origen, y así, la producción de madera contrachapada se ubica principalmente en el norte de Europa, América del Norte, sureste asiático y Japón. El proceso arranca con el seccionado y extracción de la madera de los troncos por medio de una cortadora giratoria. Se obtienen así grandes tiras que luego se cortan en forma de planchas individuales. Después se secan haciéndolas pasar por una cámara alargada. Cuando salen de esta cámara de secado, las planchas se clasifican y apilan según calidades.

A continuación, las chapas de madera se hacen pasar por unos rodillos que extienden una capa uniforme de cola por encima de las láminas (la cantidad de cola viene determinada por la porosidad de la madera). Se apilan a continuación dichas láminas teniendo cuidado de ir alternando la dirección de la veta de la madera, hasta formar un número impar de capas. Las láminas superpuestas de esta forma se colocan sobre la parte cóncava

del molde, mientras que la parte convexa va sujeta con abrazaderas por encima del bloque. Los moldes permiten un sobrante de chapa que finalmente se desbarba, una vez secado el encolado, para formar cantos regulares. Aunque variable según la forma de la pieza, hay que aplicar una presión de varias toneladas para compactar el emparedado de láminas. La presión vertical se complementa con

otra horizontal que comprime los moldes entre sí, mientras que para el curado de la cola se usa presión y calor. La pieza permanece en el molde unos 25 minutos, dependiendo el tiempo exacto de la forma de aquélla. En la fabricación industrial se utiliza una cortadora con control numérico computerizado (CNC) para recortar las láminas desiguales y obtener un perfilado regular.

Volúmenes de producción

Las hormas para los perfiles individuales se pueden fabricar en un pequeño taller. Con un montaje para producir a escala industrial, es posible fabricar cientos de miles de unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

Recurrir a hormas industriales para volúmenes de producción pequeños puede resultar costoso debido a la inversión en mano de obra. No obstante, y en función del diseño que se busque, se pueden fabricar moldes más sencillos que sí resultan económicos para producciones pequeñas e incluso para piezas de encargo. Al otro extremo del espectro –el de la producción de escala industrial–, y como sucede con la mayoría de los procesos manufacturados, los costes de mecanizado más elevados se compensan por unos costes unitarios más bajos.

Velocidad

Los tiempos de ciclo son bastante largos debido a que las chapas encoladas han de secarse dentro del molde antes de su extracción. También, debido a que las piezas necesitan un acabado ulterior que incluye el desbarbado, el tratamiento de la superficie o la pintura.

Superficie

Depende del tipo de madera.

Tipos/complexidad de la forma

Sólo para doblados simples en una única dirección. La flexibilidad inherente al material permite ligeros rebajes cuando se retiran las piezas de los moldes.

Tamaño

La escala se suele adecuar a la fabricación de muebles y accesorios (revisteros, por ejemplo). Las limitaciones respecto al tamaño vienen dictadas por la dimensión de los moldes y la capacidad de ejercer el grado de presión necesario para compactar las capas.

Tolerancias

Más bien bajas, dada la flexibilidad del material.

Materiales relevantes

El abedul se utiliza en la producción de la mayoría de los muebles fabricados en masa, aunque se pueden utilizar muchas otras maderas, como por ejemplo el roble y el arce. Las maderas con muchos nudos, como el pino, no están recomendadas, ya que resulta difícil fabricar con ellas contrachapados de una calidad consistente.

Productos habituales

Muebles, interiores y revestimientos arquitectónicos. Durante las dos guerras mundiales, los contrachapados doblados fueron utilizados como elementos estructurales en la fabricación de aviones.

Métodos similares

Inflado de maderas (véase pág. 166) y prensado de madera contrachapada (véase pág. 70).

Información complementaria

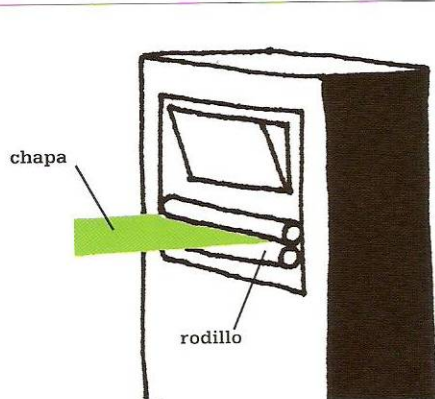
www.woodweb.com

www.woodforgood.com

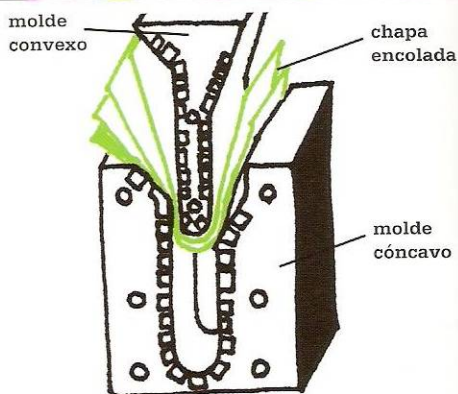
www.artek.fi

www.vitra.com

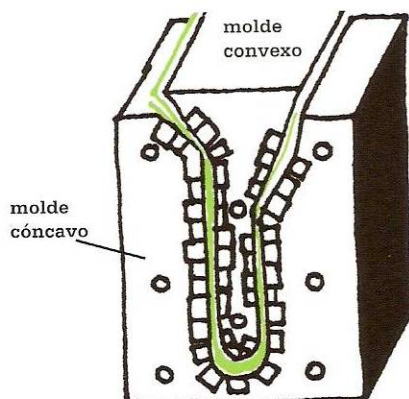
www.hermanmiller.com



1 Las chapas de madera se hacen pasar por unos rodillos que encolan de forma regular la superficie de cada lámina.



2 Las chapas se apilan y las láminas así dispuestas se colocan sobre un molde cóncavo, mientras que la parte convexa se embridra firmemente por arriba. Los moldes permiten que sobresalga un cierto sobrante de madera, que se recortará una vez haya secado la cola.



3 Se aplica presión para compactar el emparedado de láminas. La presión vertical se refuerza con presión horizontal, que comprime los moldes entre sí desde todas las direcciones.



4 Concluido el curado, se retira la pieza y se desbarba para obtener cantos regulares.



- Se adapta a espesores diversos.
- Permite la fabricación de productos resistentes y ligeros.



- Implica numerosas fases.
- Únicamente sirve para doblar la madera en una sola dirección.

Conformado tridimensional profundo de madera contrachapada

En este libro se presentan varias técnicas novedosas y revolucionarias para el procesamiento de la madera contrachapada, en un intento de crear formas cada vez más curvas y complejas. Una de estas técnicas es el conformado tridimensional profundo, que combina un método de producción y un material desarrollados especialmente para este propósito. Por medio de un tratamiento innovador que relaja las fibras de la madera, actualmente es posible doblar la madera contrachapada hasta adquirir ondulaciones anteriormente impensables.

La tecnología para preparar este tipo de madera, desarrollada por el fabricante alemán Reholz®, hace posible el moldeo del material para que describa una curva tridimensional compuesta muy acusada. De este modo se originan formas que recuerdan, más que a la madera, al plástico moldeado.

La clave del proceso –y el primer paso necesario para conseguir esas curvas

complejas– es una serie de líneas paralelas muy juntas que se cortan en la chapa de madera, con una profundidad tal que el propio material queda a punto de desarmarse. Esto confiere a las chapas una gran elasticidad, por lo que pueden ser curvadas en distintas direcciones sin romperse, incluso si se las dobla a contraveta. Las láminas individuales de chapa van unidas por un encolado que recuerda al del doblado de la madera (véase pág. 64). El objetivo que se persigue es la rigidez y resistencia.

Producto	silla Gubi
Diseñador	Komplot
Materiales	chapa de nogal
Fabricante	Gubi con tecnología Reholz® de conformado tridimensional profundo
País	Alemania (proceso) Dinamarca (silla)
Fecha	2003

Las curvas de la silla Gubi, en apariencia simples, ocultan la sofisticación de este método completamente nuevo de conformar la madera. Las curvas compuestas (el asiento hace un ángulo de casi 90 grados) son el resultado de la capacidad que posee este material pretratado para adaptarse a formas mucho más complejas, por ejemplo, que las de la bandeja de madera contrachapada prensada (véase pág. 70).





Volúmenes de producción

La técnica sirve para la producción en masa.

Precio unitario frente a inversión de capital

No es un proceso barato, aunque sí el único que permite este grado de libertad en el conformado de los laminados, lo que justifica la inversión en maquinaria si las producciones son grandes.

Velocidad

El proceso Reholz® implica varias fases: pretratamiento de la chapa de madera, prensado y, finalmente, desbarbado. Sin embargo, la verdadera diferencia entre la fabricación convencional de madera contrachapada doblada (véase pág. 64) y este proceso de conformado tridimensional profundo reside en un único paso: el tratamiento de cortado al que se someten las láminas al principio, que permite el doblado de la pieza resultante.

Superficie

Comparable a cualquier otro tipo de superficie que ofrecen las maderas de fibra apretada. Además, este material se puede teñir, pintar y revestir de modos diversos.

Tipos/complejidad de la forma

Aquí, la clave reside en que este proceso permite configurar una serie de capas de fina chapa pretratada para que se conviertan en láminas conformadas de madera contrachapada. Esas capas podrán ser curvadas hasta conseguir líneas antes inimaginables. Los diseños deben facilitar la separación de la pieza de los moldes cóncavo y convexo, para evitar los rebajes.

Tamaño

La escala está limitada por el tamaño de las chapas disponibles, así como por el de los moldes usados para producir la forma final.

Tolerancias

Debido a las variaciones naturales en la veta de la madera, es imposible realizar dos moldeos idénticos, por lo que puede resultar difícil conseguir tolerancias muy altas. Este problema, sin embargo, se puede resolver de formas diversas, por ejemplo, utilizando anclajes flexibles.

Materiales relevantes

Aunque con esta técnica se pueden utilizar muchos tipos habituales de madera, es importante que la chapa que se trabaja tenga las vetas rectas y carezca de nudos. Especialmente recomendables para este conformado tridimensional son las chapas de alta calidad de la marca italiana ALPI (recomendadas por el fabricante que ha desarrollado esta tecnología).

Productos habituales

Asientos para sillas, barras de madera contrachapada, estructuras curvas para muebles o, a mayor escala, estructuras de madera para la industria de la construcción. La madera contrachapada conformada mediante este proceso también se puede usar para revestir la carcasa de ciertos dispositivos médicos: así por ejemplo, en panelados para escáneres de resonancia magnética (IRM). Igualmente resulta útil como material de embalaje en sustitución de aglomerados MDF y en la fabricación de molduras para lámparas y piezas del interior de automóviles.

Métodos similares

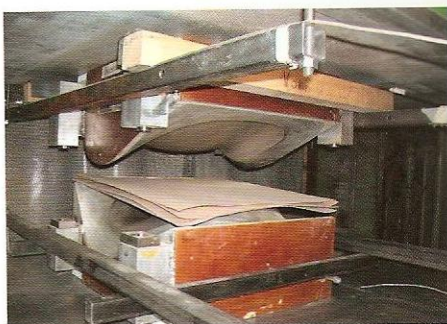
El propio fabricante compara el proceso a la embutición profunda de chapas metálicas. No obstante, en la fabricación de maderas el método más parecido es el doblado de tableros contrachapados (véase pág. 64), si bien la desventaja en este caso es que el conformado sólo se puede hacer en una dirección. El proceso de inflado de maderas (véase pág. 166) desarrollado por Malcolm Jordan permite la fabricación de formas tridimensionales parecidas, aunque requiere la utilización conjunta de espuma y madera contrachapada. El prensado de tableros contrachapados (véase pág. 70), que se usa en la fabricación de bandejas para comida y salpicaderos de coche, consigue un efecto tridimensional parecido, aunque con mucha menos profundidad.

Información complementaria

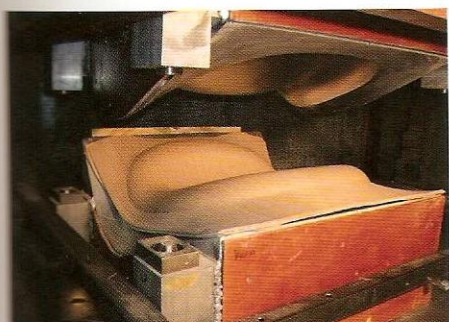
www.reholz.de



1 El apilado de chapas de madera pretratadas se dispone alternando la dirección de las vetas.



2 Chapas apiladas antes de juntar los moldes cóncavo y convexo.



3 El asiento de la silla Gubi en la fase de posformado.



4 El asiento está listo para adquirir su forma definitiva. Sólo falta recortar el material sobrante alrededor de la pieza.



- Permite producir formas nuevas a partir de la madera contrachapada.
- Abre mercados para la madera que normalmente estaban reservados a plásticos y metales.
- Potencia la resistencia estructural de la madera contrachapada.



- Existen ciertas limitaciones en relación a los radios pequeños y a determinadas curvaturas muy pronunciadas.
- Puesto que se trata de un método para el procesamiento de la madera, los moldeados nunca tendrán la precisión, por ejemplo, de los productos plásticos.
- Tecnología sólo disponible en la firma que la ha inventado (Reholz®).

Prensado de madera contrachapada

La primera característica destacable de este método de fabricación es que más se parece al moldeo de plástico que al conformado de la madera. Es decir, que una lámina plana de madera se acaba transformando en piezas tridimensionales, un resultado semejante al del termoformado al vacío de plásticos huecos (véase pág. 53).

La primera fase del proceso de fabricación de las típicas bandejas de comida que encontramos en los comedores institucionales de todo el mundo implica el corte y desbarbado de la materia prima –las chapas de madera–. En la mayoría de los casos, una capa individual de este material se compone de dos hojas estrechas «cosidas» por un hilo plano de adhesivo aplicado en forma de rayado cruzado. Las láminas se apilan y colocan

alternando la dirección de las vetas e intercalando entre cada dos una hoja de papel impregnado en cola. La pila se cierra por arriba y por abajo con dos chapas impregnadas de melamina, igual que las rebanadas de pan en un sándwich. Estos «emparedados» de láminas se colocan a continuación en una prensa entre un molde cóncavo y otro convexo. Allí, a una temperatura de 135 °C, se les aplica presión durante aproximadamente cuatro minutos. Es importante que las chapas tengan un grado aceptable de humedad para evitar que se quiebre la madera. Una vez retiradas de la prensa, las bandejas se colocan sobre una mesa plana y se sujetan con pesos para evitar su alabeado. La última fase consiste en el desbarbado de los bordes y su sellado con una laca clara pulverizada.



Producto	bandeja para comida
Diseñador	no se aplica
Materiales	abedul laqueado
Fabricante	Neville & Sons
País	Reino Unido

De izquierda a derecha: capas de chapa de madera y papel encolado; una bandeja ya prensada pero sin recortar, y la bandeja ya desbarbada y sellada con laca.



La combinación del calor, la presión y el adhesivo posibilita la fabricación de toda una gama de productos de madera laminada. El resultado son diseños que se aplican a piezas de sección delgada, aunque extremadamente resistentes. La firma británica Neville and Sons lleva años fabricando un surtido de bandejas de este

material. En la actualidad **sigue siendo** una de las pocas empresas **radicadas** en el Reino Unido que **siguen haciendo** bandejas de madera laminada. Precisamente es esa combinación de **calor** y presión la que les permite producir bandejas de gran resistencia y con un grosor de apenas 15 milímetros.

Volúmenes de producción

En un día se pueden fabricar hasta 600 bandejas de madera. Neville and Sons no acepta pedidos de menos de 50 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

La proporción, que resulta asequible incluso en producciones de escala modesta, hace de este método de conformado una opción muy adecuada para tiradas grandes y pequeñas. Los moldes que sirven para fabricar las bandejas son de aluminio recubierto de una lámina de acero inoxidable, lo que hace que resulten rentables hasta en la producción de lotes. Los precios unitarios son muy bajos.

Velocidad

Se puede fabricar una bandeja cada cinco minutos.

Superficie

El color de la superficie, y hasta cierto punto el diseño y el acabado, están controlados por la lámina de melamina que se usa en el proceso de prensado. Es posible obtener diseños decorativos, distintos colores y superficies no deslizantes.

Tipos/complejidad de la forma

Láminas engofradas con impresión de hasta aproximadamente 25 milímetros.

Tamaño

La empresa Neville and Sons fabrica productos que llegan a medir hasta 600 por 450 milímetros.

Tolerancias

No se aplica.

Materiales relevantes

Sirven la mayoría de las chapas de madera, pero en la fabricación de bandejas se suele utilizar el abedul, el haya o la caoba.

Productos habituales

Dada la poca profundidad que se puede conseguir, este proceso se reserva para productos como bandejas o productos decorativos para coches que imitan el efecto nogal típico de las marcas de gama alta.

Métodos similares

Un proceso que ofrece mucha más profundidad y mayores posibilidades en el doblado de la madera contrachapada es el conformado tridimensional profundo (véase pág. 67). Cabe también mencionar, aunque recurra a una tecnología completamente distinta, el inflado de maderas que desarrolla el fabricante Curvy Composites (véase pág. 166).

Información complementaria

www.nevilleuk.com



- **Productos extremadamente duraderos, resistentes al calor y aptos para su limpieza en lavavajillas.**
- **Excelente resistencia química.**
- **Se puede imprimir sobre su superficie.**



- **Es difícil realizar impresiones de profundidad.**

Flujo

Productos fabricados a partir de un flujo continuo de material

Este capítulo estudia los objetos que se producen conforme al mismo principio que se aplica en la fabricación de salchichas. Es decir, que las piezas resultan del cebado del material a través de una forma al objeto de producir grandes longitudes con el mismo perfil. También se incluyen en este apartado las tiras continuas de plástico y madera, los tricotados de flujos continuos de metal y las longitudes continuas de acero doblado. Se trata, pues, de una recopilación de la enorme variedad de procesos que recurren a toda una gama de dados o matrices para conformar materiales cuya longitud puede ser infinita, pero cuya sección transversal, con una sola excepción, permanece constante a lo largo de todo el flujo del producto. Muchos de estos procesos resultan enormemente rentables, ya que sirven para fabricar múltiples piezas idénticas a partir de la misma tira o sección de material.

Calandrado

El calandrado se había venido usando tradicionalmente como un proceso de acabado que se aplicaba a los productos textiles y al papel, y que consiste en el empleo de calor y presión para producir una superficie lisa y satinada. Durante el siglo XIX, sin embargo, el calandrado se desarrolló como un procedimiento mediante el cual una serie de rodillos producían lámina de caucho. Se realiza a gran escala, tanto por los volúmenes de producción como por la propia envergadura de la máquina que se usa para fabricar la lámina (o para conferir una textura a una lámina ya existente).

Imaginemos una máquina que alberga en su interior una serie de rodillos de acero –al modo de una antigua máquina de planchar– y que va prensando los materiales hasta conseguir una delgada lámina continua. Aunque se sigue usando en el acabado

del papel y en la fabricación de ciertos artículos textiles y diversos tipos de materiales elásticos, el calandrado destaca actualmente por ser el método más utilizado a la hora de conformar lámina de PVC en grandes cantidades y a gran velocidad. En el sector de la fabricación de plásticos, compite con la extrusión (véase pág. 78) en la producción de lámina plástica, tanto rígida como flexible.

Cuando se aplica a esta última actividad, el equipamiento necesario para el calandrado suele incluir al menos cuatro rodillos precalentados que van girando a distintas velocidades. Antes de llegar a esta fase, sin embargo, hay que introducir en una mezcladora los gránulos de plástico calientes para que en su interior alcancen la consistencia de un gel. Después, el material pasa a una cinta transportadora, que lo conduce hasta el

primero de los rodillos calientes. Los rodillos hay que controlarlos con sumo cuidado para producir el espesor y acabado deseados. También se pueden usar rodillos de grabado para conferir textura a la lámina, la cual pasa seguidamente por entre unos rodillos de refrigeración antes de su bobinado en un rollo gigante.

Esta imagen capta la esencia del calandrado. En ella vemos cómo una banda de plástico pasa por unos rodillos de acero pulido para formar una lámina continua de material





Volúmenes de producción

Debido a los costes de montaje y tiempos de producción, la mecanización de este proceso resulta cara. Por ello, el calandrado es un método de fabricación que se reserva exclusivamente para volúmenes de producción muy altos. La longitud mínima oscila entre los 2.000 y los 5.000 metros, dependiendo del calibre de la lámina.

Precio unitario frente a inversión de capital

Las láminas calandradas suelen necesitar un procesamiento ulterior para convertirse en productos industriales, pero el precio de la lámina antes de esta conversión resulta muy rentable en grandes pedidos. La inversión de capital es muy grande.

Velocidad

Una vez que el proceso está operativo a velocidad óptima –lo que puede tardar varias horas–, la velocidad de producción es ultrarrápida.

Superficie

Los rodillos pueden ser completamente lisos, con el fin de conferir a la lámina una superficie satinada, o bien presentar relieves, cuyo diseño se transfiere al producto final.

Tipos/complejidad de la forma

Lámina plana y delgada.

Tamaño

El grosor de una lámina de PVC suele oscilar entre 0,06 y 1,2 milímetros. La anchura de los rodillos llega a alcanzar los 1.500 milímetros.

Tolerancias

No se aplica.

Materiales relevantes

El calandrado puede usarse, como procedimiento para alisar superficies, con diversos materiales. Entre éstos se incluyen textiles, compuestos, plásticos (sobre todo PVC) o papel.

Productos habituales

Papel prensa y lámina o película de plástico de grandes dimensiones. Se puede usar asimismo como proceso de acabado con otras clases de papel y materiales textiles.

Métodos similares

Por lo que respecta a la producción de plásticos, la extrusión (véase pág. 78) es el método análogo más parecido utilizado en la fabricación de lámina continua. También existe el soplado de película plástica (véase pág. 76).

Información complementaria

www.vinyl.org
www.ecvm.org
www.ipaper.com
www.coruba.co.uk



- Sirve para producir rollos continuos de gran longitud y sin empalmes.
- Método excelente para la fabricación de láminas planas en cantidades industriales.



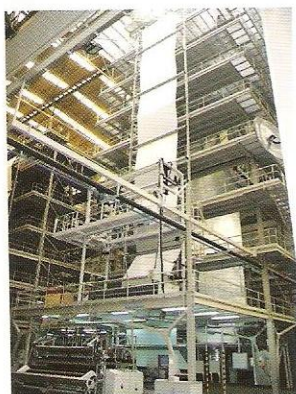
- Sólo es adecuado para la fabricación a gran escala.

Soplado de película plástica

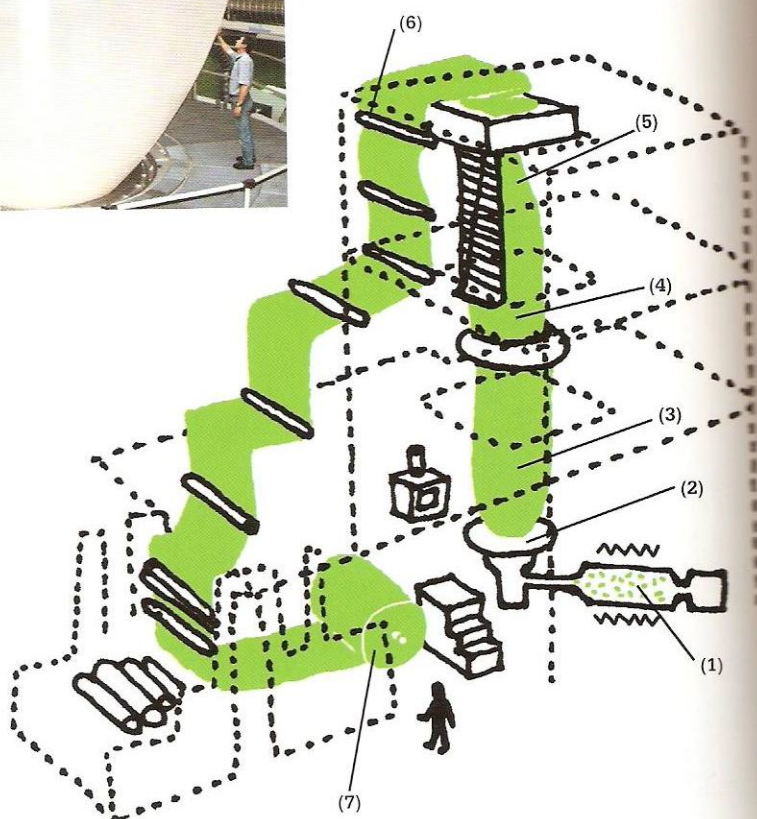
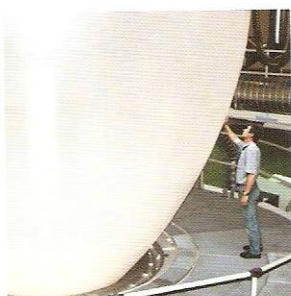
Para entender este proceso, pensemos en cómo se forma un globo de chicle cuando soplamos. Y ahora, apliquémoslo a una escala industrial enorme: para fabricar plástico del tamaño de un edificio hay que hinchar una enorme burbuja tubular de plástico inflado alojada dentro de un andamiaje vertical.

La técnica obtiene su nombre de la acción del plástico granulado que es sometido a calentamiento (1). Después

se introduce, por medio de una corriente de aire, en una matriz cilíndrica colocada sobre el plano horizontal (2) hasta configurar un tubo de paredes finas. Este tubo es soplado al objeto de formar una enorme burbuja de plástico (3) que, a su vez, se introduce en sentido vertical y por medio también de una corriente de aire, en la parte superior de la matriz formando de esta manera una torre de plástico (4). Mediante la variación del



Estas dos fotografías dan idea del tamaño gigantesco de este sistema de fabricación en el momento en que la burbuja de plástico sale de la matriz y el tubo aplanado descende pasando por los rodillos.



volumen de aire dentro de la burbuja se controla el grosor y la anchura de la película, que se va enfriando poco a poco a medida que se eleva, adquiere una forma cónica y, a varios metros de altura, termina por ceder por completo, adquiriendo el aspecto de un tubo plano (5). Más tarde, este tubo plano pasa

por una serie de rodillos durante su trayectoria de retorno al nivel del suelo (6), donde se enrolla a modo de bobina gigante lista para su distribución (7). Los bordes de este plástico laminado pueden recortarse para hacer láminas o dejarse en forma de tubo para la fabricación de bolsas de supermercado o de basura.



Volúmenes de producción

Este es un método que implica un alto volumen de producción, capaz de convertir 250 kilogramos de plástico a la hora.

Precio unitario frente a inversión de capital

Los costes de capital son altos, aunque el proceso resulta muy rentable con grandes producciones.

Velocidad

Hasta 130 metros por minuto.

Superficie

Viene controlada por diversos factores, como el material y la maquinaria.

Tipos/complejidad de la forma

Sólo láminas planas o tubos.

Tamaño

El film plástico fabricado por el procedimiento del soplado tiene un diámetro que oscila entre los 550 milímetros y los 5 metros, y una longitud que puede alcanzar varios cientos de metros. Los espesores disponibles van desde los 10 o 20 micrómetros hasta los 250.

Tolerancias

Este proceso puede conseguir tolerancias altas, aunque hay que saber que algunos fabricantes ofrecen dos clases de película plástica inflada: con y sin control del grosor.

Materiales relevantes

El material más frecuente es el polietileno de alta y baja densidad, aunque también se pueden usar otros, como el polipropileno y el nailon.

Productos habituales

La mayoría de los productos hechos con film de plástico: bolsas de basura o de otro tipo, envoltorios plásticos, film transparente para cocina, plástico para laminar y cualquier otro tipo de película plástica.

Métodos similares

La extrusión (véase pág. 78) y el calandrado (véase pág. 74) se utilizan también para fabricar láminas planas muy finas.

Información complementaria

www.plasticbag.com

www.flexpack.org

www.reifenhauser.com



- Permite producir un material de características uniformes a lo largo y ancho de piezas muy extensas.



- El soplado de película plástica no es siempre la opción ideal: el moldeado de película por colada, por ejemplo, puede ser una alternativa más adecuada en aplicaciones que requieran un alto grado de claridad óptica.

Extrusión

Hay muchos tipos de extrusión. Tenemos la no muy tecnológica operación de apretar un tubo de pasta de dientes, pero también la fabricación de alimentos como los espaguetis, la construcción de marcos de aluminio para ventanas o la elaboración de las barras de huevo cocido que luego se cortan en rodajas para preparar ensaladas en los McDonald's. Resumiendo mucho, la extrusión consiste obligar a un material a pasar por un orificio de una matriz o dado con el fin de producir una determinada longitud continua de dicho material, el

cual quedará conformado por el propio perfil del agujero.

Tom Dixon ha promovido una original aplicación de la extrusión en su gama Fresh Fat de muebles y accesorios. Él mismo se encargó de desarrollar su propia maquinaria para la fabricación de unos productos que combinan formas entretejidas, anudadas y enredadas. Dixon se basa en el principio de que, en su estado blando y maleable, el plástico puede adoptar cualquier forma que le impongamos. Por ejemplo, él ha conseguido embutir una tira de plástico



Producto	mesa de la gama Fresh Fat
Diseñador	Tom Dixon
Materiales	copoliéster PETG
Fabricante	información no disponible
País	Reino Unido
Fecha	2000

He aquí un gran ejemplo, en el campo del diseño, del denominado «pensamiento abductivo»: Tom Dixon actúa como un pirata en busca de nuevos tesoros, que encuentra en el mundo de la industria —en este caso, la extrusión de copoliéster— para luego convertirlos en productos.

Volúmenes de producción

Las longitudes mínimas varían según los fabricantes, pero la extrusión puede ser un proceso rentable tanto para fabricar lotes como para producciones de gran escala. Queda descartada su utilización para piezas individuales de encargo —a menos que tengan 50 metros de largo—.

Precio unitario frente a inversión de capital

La extrusión convencional requiere poca inversión en maquinaria si se la compara, por ejemplo, con el moldeo por inyección (véase pág. 178). El método de Tom Dixon sólo precisa de los moldes donde se drapea el «espaguetti».

Velocidad

Hasta 20 metros a la hora.

Superficie

Excelente.

Tipos/complejidad de la forma

No hay problemas a la hora de producir formas complejas con diversos espesores de la pared del material, siempre y cuando la forma se mantenga igual en toda la longitud de la pieza. También sirve para fabricar lámina plana.

Tamaño

Depende del tipo de extrusión. La mayoría de los fabricantes trabajan con un tamaño máximo que, de media, es de 250 milímetros en sección transversal. La

longitud está limitada por el tamaño de la fábrica.

Tolerancias

Es difícil mantener tolerancias altas debido al desgaste del dado.

Materiales relevantes

Los productos de la gama Fresh Fat están hechos de un copolímero llamado Provista que ha desarrollado la empresa Eastman Chemical Company. Existen, sin embargo, otros materiales con puntos de fusión bajos que se pueden extrudir. Entre ellos, los compuestos de madera y plástico, el aluminio, el magnesio, el cobre y la cerámica.

Productos habituales

Todo tipo de productos, desde piezas para la construcción y muebles, pasando por lámparas y accesorios, hasta pasta para cocinar y palitos de caramelo con nombres grabados.

Métodos similares

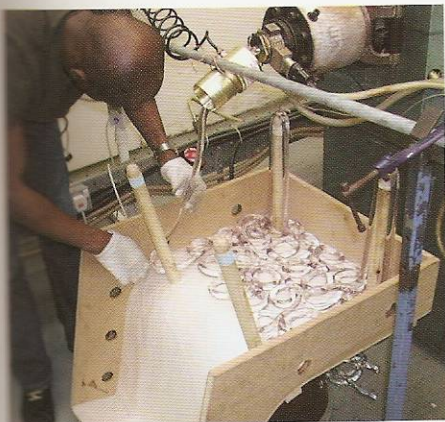
Pultrusión (véase pág. 81), calandrado (véase pág. 74), coextrusión (cuando el mismo producto tiene múltiples capas de material extrudido), laminado (dos o más materiales unidos), perfilado por rodillos (véase pág. 86) y extrusión inversa por impacto (véase pág. 128).

Información complementaria

www.eastman.com

www.tomdixon.net

www.aec.org



1 Se da forma al «espaguetti» de plástico caliente sobre un molde de madera.



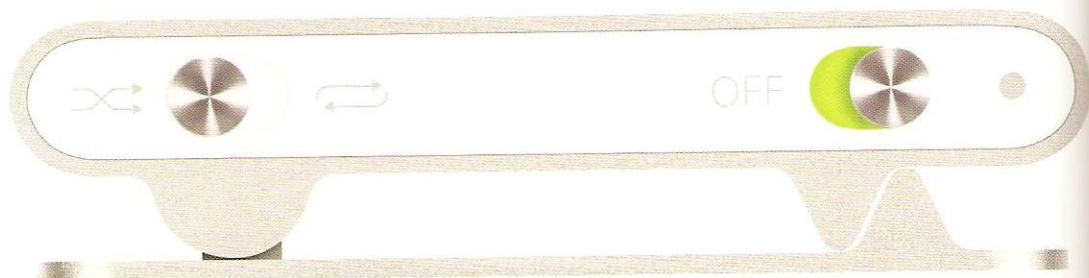
2 Un experto va conformando las patas de este producto de artesanía industrial.

continua y estrecha dentro de un molde y que quede allí recogida y plegada, es decir, convertida en una masa controlada. Ésta es la esencia de la extrusión.

Todos los productos de la gama fabricada por Dixon –sillas, una tumbona y ensaladeras– son ejemplos básicos del principio del moldeo del plástico: en determinadas circunstancias, el plástico puede mantenerse como una masa caliente que, al enfriarse, ocupa la forma que lo rodea. Ahora bien, lo que confiere

a la gama de productos Fresh Fat su identidad propia es el hecho de que cada pieza es irrepetible, y ello se debe a la forma en que ha sido moldeada.

Menos llamativo es el tipo de extrusión capaz de producir láminas planas, generalmente de plástico, mediante el cebado del material por la ranura de una matriz, de donde pasa a un rodillo laminador. Las longitudes vienen determinadas por la decisión de cortar en un punto y no en otro.



Producto reproductor de audio digital
iPod Shuffle

Diseñador	Apple
Materiales	aluminio anodizado
Fecha	2006

Apple no para de buscar nuevos límites a los materiales y a los sistemas de producción. Esta generación del iPod Shuffle recurre a un concepto de la extrusión más convencional que el de Tom Dixon: aquí se mantienen tolerancias altas, al tiempo que se explota la capacidad de la extrusión para crear un perfil variado utilizando los salientes en punta como parte integrante de la pinza.



- Es la mejor forma de producir tiras largas con el mismo perfil.
- Se puede utilizar con diversos materiales.
- Proceso fundamental en muchos productos.



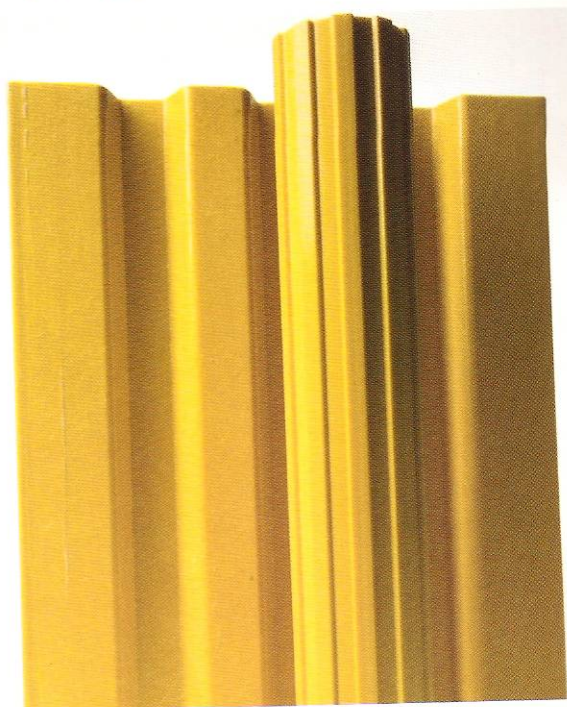
- Suele ser necesario cortar, montar o taladrar las piezas resultantes.

Pultrusión

Como método para el procesamiento de plásticos, la pultrusión es mucho menos común que su prima la extrusión (véase pág. 78), bastante más conocida. Ambos son procesos parecidos en el sentido de que permiten la producción de longitudes continuas de una misma pieza sin cambio de perfil. Pero una de las principales diferencias entre ambos es que la extrusión se puede utilizar con aluminios, compuestos de la madera y materiales termoplásticos, mientras que la pultrusión se emplea en el formado de compuestos reforzados con largas hebras de fibra.

El término que designa este proceso incluye en su raíz el verbo inglés *pull* («tirar» o «arrastrar») y, en efecto, el proceso se basa en tirar de los materiales fundidos del compuesto a través de una matriz o dado caliente. Aquí radica una diferencia con respecto a la extrusión, donde no se tira del material, sino que se le empuja. Las longitudes continuas de fibras de refuerzo (compuestas de vidrio o carbono) se saturan, a medida que son arrastradas por el dado, con una mezcla hecha a base de resina líquida. Ello, aparte de dar forma al producto, sirve también para curar la resina en virtud del calentamiento del propio dado. A veces se utilizan fibras preimpregnadas («preg»), lo que hace innecesario el baño de resina.

En los últimos años, los fabricantes de plásticos han experimentado con muchas aplicaciones que se solían reservar a los metales, y la pultrusión es un ejemplo típico de las ventajas que puede acarrear este tipo de experimentación. Los plásticos sometidos a pultrusión exhiben un rango cada vez mayor de propiedades físicas que pueden redundar en beneficio de diversas aplicaciones, tanto



Producto	muestra de plástico obtenido por pultrusión
Materiales	fibra de vidrio y compuesto de resina de poliéster
Fabricante	Fibre Force
País	Reino Unido

Estos perfiles ilustran dos de las virtudes más importantes de la pultrusión: en primer lugar, su capacidad de producir formas en materiales plásticos que tienen propiedades parecidas a las de los perfiles metálicos; en segundo lugar, la posibilidad de que los materiales así tratados lleven colores moldeados.

tecnológicas como de diseño. Y es que ofrecen la robustez de los metales, pero también las ventajas del bajo peso y la resistencia a la corrosión. Las pultrusiones son secciones increíblemente densas, duras y rígidas. ¡Incluso suenan como el metal si se las golpea!



Volúmenes de producción

Dependen del tamaño y complejidad de la forma. Una tirada típica serían 500 metros.

Precio unitario frente a inversión de capital

El coste es inferior al de algunos procesos de moldeo –por ejemplo, el moldeo por inyección (véase pág. 178) y el moldeo por compresión (véase pág. 156)–, pero también más elevado que –pongamos por caso– el del moldeo manual (véase pág. 134).

Velocidad

Depende del tamaño, pero, en general, es posible conseguir 0,5 metros por minuto para un perfil de 50 por 50 milímetros; 0,1 metros por minuto para formas gruesas y 1 metro por minuto en el caso de secciones más estrechas.

Superficie

El acabado de las superficies se puede controlar hasta cierto límite, en función del refuerzo y del polímero.

Tipos/complejidad de la forma

Con la pultrusión no hay problemas de rebajes. Se puede producir prácticamente cualquier forma capaz de comprimirse dentro del dado, teniendo en cuenta, eso sí, que la forma ha de tener un espesor constante.

Tamaño

El tamaño máximo de los perfiles tiene una anchura habitual de 1,2 metros, aunque hay máquinas especializadas que pueden fabricar productos más grandes. El grosor mínimo de la pared del material ronda los 2,3 milímetros. Las dimensiones de la planta

de fabricación son las que dictan el límite de longitud para este procedimiento.

Tolerancias

Varían en función del perfil, pero en una sección rectangular estándar cuyo espesor de pared sea de 4,99 milímetros, la tolerancia será de $\pm 0,35$ milímetros.

Materiales relevantes

Cualquier matriz de polímero termofraguado que pueda utilizarse con vidrio y fibra de carbono.

Productos habituales

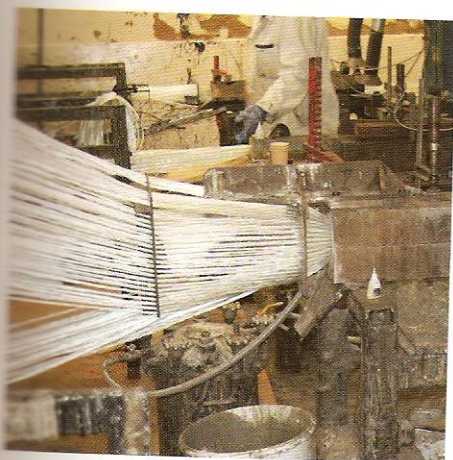
Las aplicaciones de la pultrusión son variadas e incluyen componentes estructurales –temporales o permanentes– para plantas industriales, mobiliario público urbano (de interior y exterior) resistente a los actos vandálicos y casetas para ferias y exposiciones. Aplicaciones de menor envergadura son las escaleras con aislamiento eléctrico, bastones de esquí, mangos de raquetas, cañas de pescar y cuadros de bicicleta. Puede parecer sorprendente, pero los plásticos procesados por pultrusión poseen una resonancia similar a la de ciertas maderas, por lo que se han usado como sustituto de la madera dura en la fabricación de bastidores de xilófono.

Métodos similares

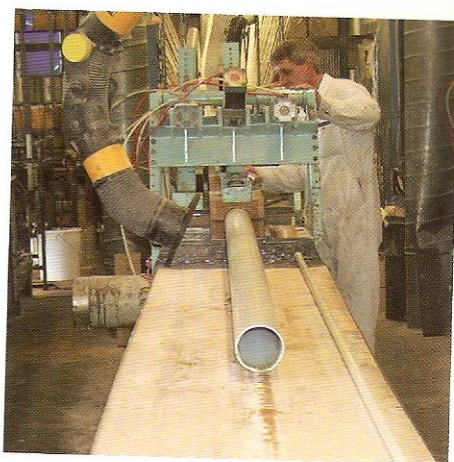
Extrusión (véase pág. 78) y pulformado (véase pág. 84).

Información complementaria

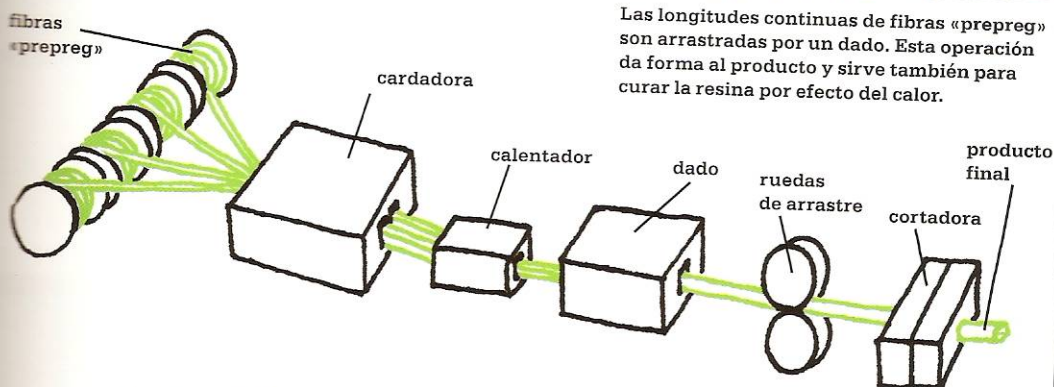
www.fibreforce.co.uk
www.acmanet.org/pic
www.pultruders.com



1 Las hebras individuales de fibra se ceban en un dado, donde se empaparán en resina y adquirirán su perfil final.



2 Por la cortadora asoma un tubo ya acabado, listo para su segmentación en tramos de la longitud requerida.



- Procura una reducción de peso de entre el 75 y el 80 por ciento si se trata de acero, y del 30 por ciento si se aplica al aluminio.
- La estabilidad de las dimensiones es mayor que en sus equivalentes metálicos.
- Los productos se pueden colorear sin riesgo de descascarillado, ya que el color se añade al propio polímero.
- Se pueden decorar las superficies para imitar granulados y otras texturas.
- Sirve para producir materiales no conductores ni corrosivos.



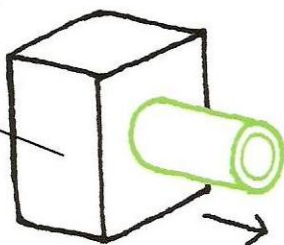
- Un inconveniente de la pultrusión es que el diseño se limita a perfiles con una sección transversal constante.

Pulformado (Pulshaping™)

El pulformado o Pulshaping™ es uno de los descubrimientos más recientes en el mundo de la manufacturación y procesamiento de materiales compuestos (composites). Desarrollada por la empresa Pultrusion Dynamics, con sede en Estados Unidos, esta técnica soluciona uno de los mayores problemas habituales en el proceso de pultrusión (véase pág. 81): la sección transversal homogénea y constante de todo el flujo de material. El pulformado permite a los diseñadores modificar en tres dimensiones una forma de la sección

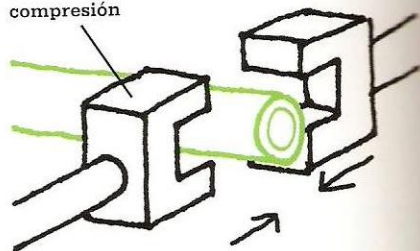
transversal durante el procesamiento continuo de productos de plástico reforzados con fibra. Así, por ejemplo, podemos tener un perfil redondo como sección transversal constante de la mayoría del material continuo y modificar seguidamente ese perfil en los extremos, moldeando en el primero un cuadrado y en el otro una forma ovalada (si tenemos la maquinaria adecuada). Una ventaja de este proceso consiste en que nos permite, por ejemplo, adaptar los extremos del tubo para labrar pernos roscados o juntas de dilatación/reducción.

dado de pultrusión

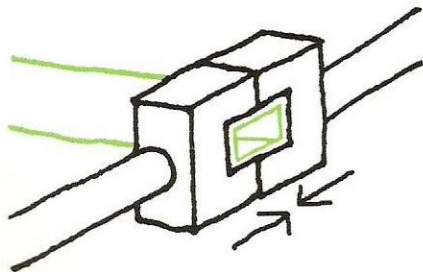


1 Se utiliza un dado de pultrusión estándar para conformar una sección cilíndrica.

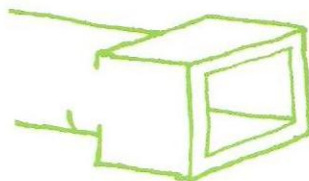
molde de compresión



2 Un molde de compresión de dos piezas sirve para aplicar presión y, de este modo, aplastar las paredes cilíndricas.



3 La presión conforma el tubo con la sección deseada.



4 En la pieza acabada, la sección transversal se ha modificado, abandonando su aspecto cilíndrico.



Volúmenes de producción

La técnica denominada Pulshaping™ se encuentra aún en fase de desarrollo, si bien es un proceso potencialmente útil para grandes volúmenes de producción.

Precio unitario frente a inversión de capital

Se trata de un proceso bastante costoso que no sirve para producciones pequeñas. Para que sea rentable hay que producir por encima de los 2.000 metros lineales.

Velocidad

Lo habitual es desarrollar una velocidad de producción de 0,5-1 metros por minuto para la parte del proceso consistente en la pultrusión continua, más otros 1-3 minutos para los ciclos de reconformado.

Superficie

Como pasa con la pultrusión, es posible controlar el acabado de la superficie con pequeñas oscilaciones en función del refuerzo y del polímero. Gracias a que el proceso facilita la manipulación de la forma a lo largo de toda la superficie de la sección transversal, es posible incorporar al segmento reconformado del producto distintas características, como muescas y proyecciones.

Tipos/complejidad de la forma

Nos encontramos ante un proceso muy versátil debido a su capacidad para producir

formas muy diversas en la sección transversal del producto.

Tamaño

Lo ideal es utilizar el pulformado con productos de considerable longitud (más de 1,8 metros).

Tolerancias

Tolerancias muy precisas.

Materiales relevantes

Resinas de termofraguado con vidrio, carbono o fibra de aramida.

Productos habituales

El pulformado permite fabricar en una sola operación objetos tales como asas para maquinaria grande, que suelen necesitar un cuerpo central recto y elementos adicionales en los extremos. Esos elementos normalmente implican procesos independientes.

Métodos similares

En realidad, este proceso no se parece a ningún otro, en el sentido de que los más similares, como la extrusión (véase pág. 78) y la pultrusión (véase pág. 81), no permiten la manipulación de la sección transversal.

Información complementaria

www.pultrusiondynamics.com



- Comparte muchas de las ventajas enumeradas a propósito de la pultrusión (véase pág. 81)
- La ventaja añadida consiste en que permite modificar la geometría del producto en puntos específicos a lo largo de la longitud continua del objeto.



- Aunque se puede modificar la geometría en toda la longitud del producto, esta modificación se limita a un diseño repetitivo. No permite ejecutar una curva o una forma cónica continuas.

Perfilado por rodillos

El perfilado por rodillos puede usarse para producir un flujo continuo de productos de distintas formas: desde morfologías simples ejecutables en una sola operación hasta perfiles bastante complejos que demandan varias pasadas del material por distintos rodillos. Además, podemos generar secciones cuadradas o formas redondas, con rebordes doblados o bien secciones cuadrangulares.

Resumiendo mucho, diremos que el perfilado por rodillos implica el tránsito de una lámina continua de metal, plástico o incluso vidrio por encima o por entre un

mínimo de dos rodillos con formas determinadas. Al introducir la lámina en línea recta entre los rodillos, obligamos al material a curvarse siguiendo el perfil requerido. Esta operación de doblado se produce gradualmente a medida que el material pasa por la serie de rodillos en un proceso que puede requerir hasta 25 de estos elementos, dependiendo de la complejidad del perfil. El perfilado por rodillos puede ejecutarse como conformado en frío o en caliente. En el caso del vidrio, la lámina pasa por los rodillos como una cinta de material fundido.



1 Aunque se trata de un dispositivo muy rudimentario, la imagen muestra cómo se introduce una tira plana de metal entre los rodillos con el fin de doblarla en un ángulo poco acentuado.



2 A medida que se cierra la distancia entre rodillos para una segunda pasada, se consigue una curva más cerrada.

Producto	pie de soporte en aluminio para un iMac de Apple
Diseñador	Apple
Materiales	aluminio
Fecha	2004

El pie de aluminio de este ordenador iMac ilustra, de manera sobria, cómo Apple posee un control total en el proceso de fabricación de sus productos. El triunfo consiste en doblar una pieza tan gruesa de aluminio sin producir desgarros en el material allí donde se dobla, algo que cabría esperar en vista de la escala y el grosor del material utilizado.





Volúmenes de producción

Producción en masa de grandes volúmenes.

Precio unitario frente a inversión de capital

Los costes de montaje y maquinaria son elevados, lo que explica que el proceso se adecue a la producción en masa. A pesar de ello, es posible producir prototipos pequeños en talleres de pocas dimensiones. Todo depende de la complejidad de la forma.

Velocidad

Lo más habitual es que las velocidades de producción oscilen entre los 300 y 600 metros a la hora cuando son fabricantes de rango intermedio, y siempre dependiendo de la complejidad del perfil y del calibre del material. Los fabricantes más grandes suelen ir más rápido, pero con restricciones en lo tocante a cantidades y longitudes mínimas.

Superficie

Para introducir detalles en la superficie, se pueden incorporar al proceso otras operaciones como el punzonado y el grabado.

Tipos/complejidad de la forma

Grandes longitudes con el mismo perfil, que puede ser bastante complejo.

Tamaño

En los objetos producidos en masa la profundidad estándar es de unos 100 milímetros, aunque resulta posible fabricar piezas de enorme longitud, como demuestran las famosas y monumentales estructuras curvas del artista Richard Serra. En teoría, las únicas restricciones en cuanto a longitud vienen dictadas por las dimensiones físicas de la planta de fabricación.

Tolerancias

Oscilan entre $\pm 0,05$ y ± 1 milímetros, dependiendo del grosor de la lámina.

Materiales relevantes

El perfilado por rodillos se utiliza casi exclusivamente para el conformado de metales, aunque también resulta útil con vidrio y plásticos, si bien a una escala mucho menor.

Productos habituales

Piezas de automóvil, perfiles arquitectónicos, marcos de cuadros y ventanas y guías para puertas correderas y rieles de cortina. En el caso del vidrio, el proceso se emplea para hacer los perfiles en U que se utilizan para la instalación de ventanas destinadas a la arquitectura.

Métodos similares

En metalurgia hay métodos parecidos como el conformado de chapa (véase pág. 44) y la extrusión (véase pág. 78), dos procedimientos que también sirven para producir grandes longitudes de perfiles conformados.

Información complementaria

www.graphicmetal.com

www.crsauk.com

www.pma.org

www.britishmetalforming.com

www.steelsections.co.uk

www.corusgroupag.com



– Flexibilidad por lo que respecta a la longitud final.



– Sólo sirve para un material de espesor fijo.

Estampado por rotación

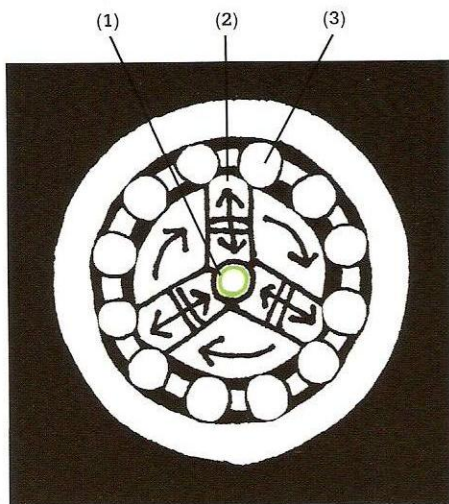
TAMBIÉN LLAMADO **forja radial**

con husillo estacionario y estampado plano

Diremos, para explicar este proceso en términos sencillos, que el estampado por rotación se utiliza para modificar el diámetro de una serie de tubos, barras y cables de metal. El proceso implica el cebado del material original por sucesivos dados giratorios de acero que lo van conformando hasta que adquiere el perfil deseado (siempre, en todo caso, simétrico y redondo). A medida que giran, los dados ejecutan una operación

de martilleo a una velocidad de aproximadamente 1.000 percusiones por minuto. Se puede decir, por tanto, que, en esencia, dan forma a la pieza de trabajo a base de golpes.

Otras formas de estampado por rotación incluyen el empleo de un husillo estacionario para el conformado de piezas no redondas. Por su parte, el estampado plano se usa para reducir el grosor total de la chapa metálica.



El material, que en principio tiene su diámetro original, es introducido en un dado de acero giratorio (1). Éste va percutiendo el material hasta darle forma con una serie de remachadores (2) que golpean en los rodillos a medida que gira la pieza. Esta operación de martilleo tiene lugar conforme los remachadores pasan por una serie de rodillos (3). La simple fuerza centrífuga hace que los remachadores se separen del dado para, a continuación, volver a avanzar de nuevo mientras recorren los rodillos.



Volúmenes de producción

Producción en masa de nivel entre medio y alto.

Precio unitario frente a inversión de capital

Aunque el proceso parece complicado, en realidad gravita sobre un principio muy simple que implica un mínimo de mecanización y tiempos de montaje muy rápidos. Ello lo convierte en un método inusual, en el sentido de que posee una alta capacidad productiva y al mismo tiempo también resulta rentable en producciones cortas.

Velocidad

Permite producir formas sencillas a un ritmo de 500 unidades a la hora.

Superficie

El estampado por rotación proporciona superficies excelentes y de aspecto satinado. Ello es fruto del proceso de remachado, que confiere a las superficies un efecto de pulido. El acabado es mejor que el de la tubería convencional sin estampado.

Tipos/complejidad de la forma

Debido a la acción giratoria de la máquina, las opciones se limitan a formas simétricas y redondas. Tubos, barras y cables de cualquier forma pueden convertirse en perfiles redondos mediante este proceso,

mientras que para la obtención de secciones no redondas **hace falta recurrir** al estampado con husillo estacionario.

Tamaño

En función del tipo de maquinaria a disposición de cada fabricante, las dimensiones oscilan entre los 0,5 y los 350 milímetros.

Tolerancias

Esta técnica procura un buen control de los diámetros interno y externo, dependiendo de cómo se monten los dados.

Materiales relevantes

Los metales dúctiles son los más utilizados. Los ferrosos con alto contenido de carbono pueden resultar problemáticos.

Productos habituales

Palos de golf, tubos de escape, mangos de destornillador, patas para muebles y cañones de escopeta.

Métodos similares

Mecanizado (véase pág. 12), extrusión por impacto (véase pág. 128) y embutición profunda de metales (utilizada para estirar una chapa metálica y conferirle toda una serie de formas huecas: cilindros, hemisferios, cuencos, etcétera).

Información complementaria

www.torrington-machinery.com
www.felss.de
www.elmill.co.uk



- Se puede conformar una larga serie de perfiles simétricos.
- Al no retirarse ningún fragmento del metal, se trata de un proceso económico en su aprovechamiento del material.
- Posibilita un alto grado de control de las dimensiones, tanto en la superficie interna como en la externa.
- La operación endurece el material, haciéndolo por tanto más resistente.

- El estampado por rotación sirve únicamente para obtener formas redondas y simétricas (aunque el estampado con husillo estacionario permite la obtención de perfiles no redondos, incluidos triángulos y cuadrados).
- La reducción del diámetro suele ser más fácil de conseguir en los extremos que en la parte central del tubo.

Tricotado de alambre preondulado



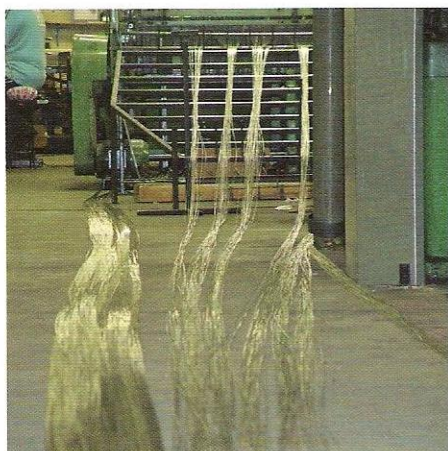
La fabricación de mallas metálicas a base de hilo metálico preondulado constituye un ejemplo inmejorable de cómo es posible tejer materiales sorprendentes con un propósito decorativo. Al igual que una tela convencional se puede tejer para obtener una pieza de decoración, también es posible tricotar secciones de alambre rígido para vestir y adornar nuestro paisaje urbano. Este tipo de tejidos industriales adoptan numerosas formas, desde la cota de malla para enrejados y géneros industriales hasta los revestimientos arquitectónicos. Aunque no está reconocido como un proceso industrial importante, este método puede usarse en el diseño de paneles metálicos decorativos a gran escala.

malla metálica para arquitectura	
Producto	
Materiales	acero inoxidable y bronce
Fabricante	Potter & Soar
País	Reino Unido
Fecha	2005

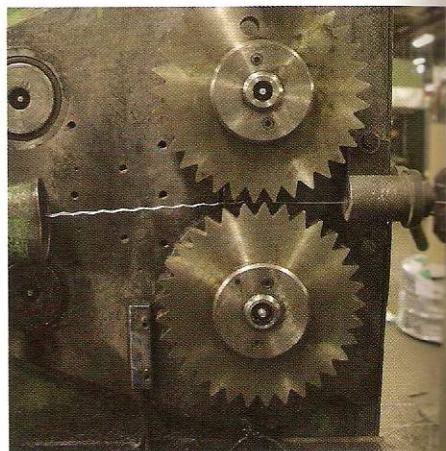
La malla metálica para usos arquitectónicos puede fabricarse conforme a una amplia gama de especificaciones, al objeto de aumentar o rebajar características como la densidad, la textura o la transparencia. De este modo se pueden crear distintos efectos ópticos, además de ser un material autoportante por lo que puede usarse en techos y revestimientos, así como en la fabricación de balaustradas y muebles.

Se trata de un proceso en dos fases: la primera consiste en el preondulado del alambre en distintos puntos. Por medio de una sencilla operación, se ceba el alambre entre dos rodillos donde unas indentaciones van labrando torceduras

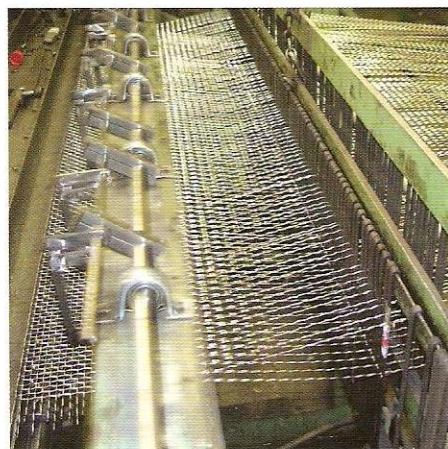
en el hilo metálico a distancias predeterminadas. En la segunda fase, los largos filamentos de alambre ondulado se introducen en un telar industrial para trabajos pesados, donde se entreteje una malla con otros alambres preondulados.



1 Las longitudes de alambre se introducen en la máquina onduladora.



2 Estas ruedas dentadas muestran la simplicidad del proceso de ondulado.



3 Comienza el tricotado en un telar industrial gigante.



4 Empiezan a formarse las piezas de malla metálica que se usarán como componente arquitectónico.



Volúmenes de producción

Desde un mínimo de un metro cuadrado, que puede resultar caro, a una cantidad ilimitada de láminas.

Precio unitario frente a inversión de capital

Como el ondulado se hace con ruedas dentadas de gran simplicidad, el proceso no suele requerir costes de mecanizado. Las propias ruedas pueden ser rentables si se las compara con otros tipos de maquinaria industrial.

Velocidad

Varía en función del tipo de tricotado.

Superficie

Buen acabado. También puede llevar electropulido (un proceso que retira de la superficie del metal cantidades microscópicas de material).

Tipos/complejidad de la forma

Mediante la aplicación de técnicas de postconformado para lámina plana, pueden generarse infinitas posibilidades.

Tamaño

La anchura máxima es de 2 metros. La longitud está limitada por el tamaño del propio local de fabricación.

Tolerancias

No se aplica.

Materiales relevantes

Lo más normal es usar acero inoxidable 316L, acero galvanizado o cualquier aleación susceptible de ser tejida.

Productos habituales

Balaustradas, fachadas exteriores, revestimientos para escaleras, parasoles y techos metálicos que dejan pasar la luz y soportan sistemas de aspersores.

Métodos similares

El perforado de metal expandido (que abre una chapa metálica para crear una serie de ranuras y que se suele instalar en las medianas de las autovías) y el eslabonado de malla de cable, que utiliza alambre en forma de espiral y se emplea de modo característico en la fabricación industrial de cercados de seguridad.

Información complementaria

www.wiremesh.co.uk



- Volúmenes de producción flexibles y adaptables.
- Capaz de producir un panel rígido autoportante que se puede moldear y no se deforma.



- Sólo sirve para fabricar paneles de longitud fija, por contraste con los rollos.

Corte de chapa de madera

incluye el corte rotatorio
y el seccionamiento



Producto	lámpara de techo Leonardo
Diseñador	Antoni Arola
Materiales	madera tratada
Fabricante	Santa & Cole
País	España
Fecha	2003

Esa sencilla pantalla de lámpara formada por bucles utiliza chapa de madera de un modo decorativo y original, realizando el sorprendente aspecto translúcido de la madera.

Resulta obvio que los árboles son una de las fuentes más ricas de materia prima, alimento y protección. Además, y desde mi punto de vista, la fabricación de chapas de madera demuestra el ingenio e inventiva de los seres humanos a la hora de convertir un objeto en toda una serie de formas prácticas. Ir mondando un árbol en tiras continuas para crear chapas de madera es seguramente uno de los métodos más económicos de explotarlo, un sistema que nos va

desvelando la propia historia del árbol, al aportar pruebas claras de su nutrición y ciclo vital.

Hay dos procedimientos fundamentales para la formación de chapa de madera: el seccionamiento (que consiste en ir extrayendo tajadas del tronco a lo largo de toda su extensión) y el corte rotatorio (que implica el exfoliado del tronco en una tira continua hasta llegar a su parte central, cuando ya no queda madera). El corte rotatorio es, con mucho, el procedimiento más utilizado.

Los troncos, una vez talados, se clasifican según las distintas calidades para su transformación en chapas, pulpa o madera contrachapada. Dependiendo de la procedencia de estos troncos, es posible que haya que hacer un control de contenidos metálicos, a veces presentes en la madera (con frecuencia son balas disparadas durante algún conflicto bélico).

Una vez que los rollizos llegan al aserradero, se cortan en secciones de la longitud deseada. La longitud de este corte depende de los usos de cada región y de si se va a utilizar la madera para extraer chapas o para producir láminas de contrachapado. A continuación se ablandan las secciones resultantes remojándolas en agua caliente durante un promedio de 24 horas. Esta operación afloja la corteza y relaja las fibras de la veta, lo que facilita la posterior exfoliación.

Retirada la corteza, se procede a un lento secado de los rollizos antes de someterlos al corte rotatorio, donde una máquina los va girando mientras se aplica una cortadora que poco a poco extrae una tira continua de chapa. Esa longitud, como las que produce el seccionamiento, se puede subdividir en tramos más cortos mediante un guillotinado.



Volúmenes de producción

No se aplica. Tratándose de un «artículo de consumo», se fabrica constantemente.

Precio unitario frente a inversión de capital

No se aplica. Lo mismo: las chapas de madera se producen constantemente, por lo que el coste de herramientas y maquinaria sólo se paga de forma indirecta.

Velocidad

Una vez cargado en la cortadora, un rollizo de abedul estándar (con un diámetro de 300 milímetros) se puede «pelar» por completo hasta formar una lámina continua en menos de dos minutos.

Superficie

Si tenemos en cuenta que el proceso manipula un trozo de madera cortada como con un cuchillo, la superficie es bastante suave. Lógicamente, se puede obtener un acabado mejor por medio del lijado.

Tipos/complejidad de la forma

Material presentado en forma de chapa delgada.

Tamaño

La hoja de la cortadora se puede ajustar para que seccionen grosores de chapa de entre 1 y 2 milímetros aproximadamente. El tamaño de la chapa de madera viene determinado por la anchura del rollizo y por el punto en que esa anchura total se

corta en láminas más pequeñas. Un rollizo estándar de unos 300 milímetros de diámetro puede producir hasta 15 metros de chapa de madera.

Tolerancias

No se aplica.

Materiales relevantes

La mayoría de las especies de árboles.

Productos habituales

El uso más obvio de la chapa de madera se da en la fabricación de diversos tipos de tabloncillos contrachapados o laminados para la industria del mueble. Sin embargo, también hay empresas que laminan chapas de madera con un adhesivo y las venden como recubrimiento de paredes.

Métodos similares

Éste es un método singular para el procesamiento de las maderas. Las chapas resultantes, no obstante, pueden usarse para fabricar madera contrachapada, que puede conformarse por métodos diversos, entre los que se encuentra el doblado (véase pág. 64).

Información complementaria

www.ttf.co.uk

www.hpva.org

www.nordictimber.org

www.veneersselector.com



- **Buen aprovechamiento del material.**
- **Aunque es un método de producción industrial, tiene un cierto grado de flexibilidad que permite controlar el grosor de la chapa de madera y la longitud y anchura de las láminas finales.**

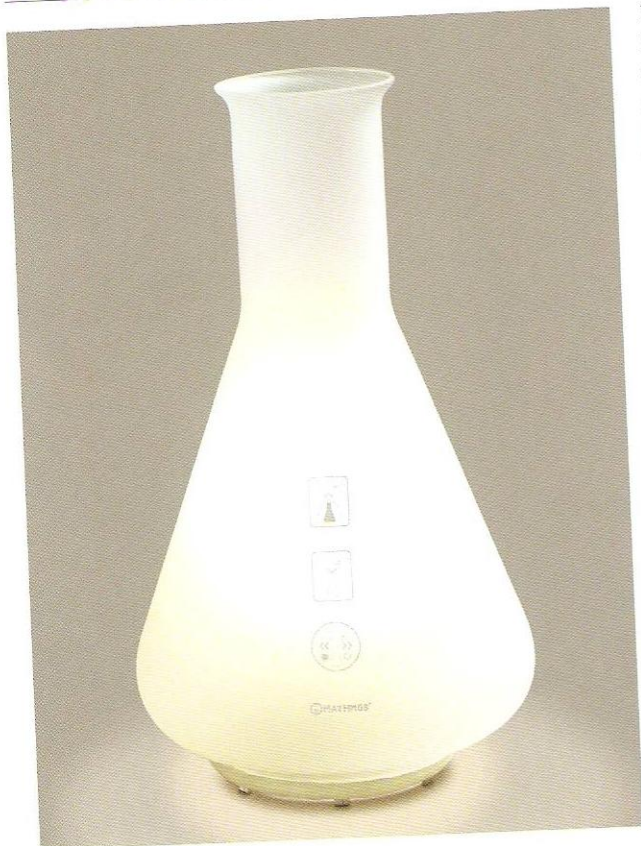
- **Sólo sirve para producir láminas o tiras.**

98	Soplado manual de vidrio
100	Moldeo de tubo de vidrio al soplete
102	Moldeo del vidrio por soplado y resoplado
106	Moldeo del vidrio por prensado y soplado
109	Moldeo de plásticos por soplado
111	Moldeo por inyección-soplado
114	Moldeo por extrusión-soplado
116	Moldeo por inmersión
119	Moldeo rotativo
122	Vaciado
125	Hidroconformado de metales
128	Extrusión inversa por impacto
131	Moldeo de pasta de papel
134	Moldeo por contacto
136	Proceso de infusión al vacío (VIP)
138	Moldeo en autoclave
140	Bobinado de filamentos
143	Vaciado centrífugo
146	Electroconformado

Productos huecos con una sección de pared delgada

El capítulo más extenso de este libro abarca todo tipo de procesos empleados en la fabricación de formas huecas y, por lo general, con paredes muy finas. Así, abordaremos las múltiples variantes del moldeo por soplado, un proceso que, en su variante manual, lleva usándose desde hace varios miles de años para producir valiosísimos artículos de cristalería. El principio del moldeo por soplado se ha aplicado con éxito a la producción en masa de carácter industrial, sobre todo en la industria de los plásticos, capaz de hacer millones de botellas desechables para las fábricas de refrescos. Se incluyen asimismo otras formas del vaciado y el moldeado, desde el muy frecuente moldeo rotativo —una variante del cual se emplea en la elaboración de los huevos de Pascua— hasta el menos habitual vaciado centrífugo, que propulsa metal o vidrio en el interior de un tambor giratorio, obligando así al material a adherirse a las paredes del dado. De esta forma se pueden fabricar desde pequeñas piezas de joyería hasta enormes tuberías industriales.

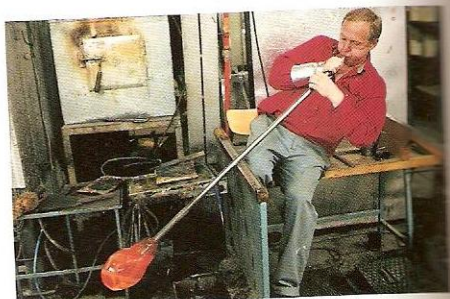
Soplado manual de vidrio



Producto	lámpara matraz Air Switch
Diseñador	Mathmos
Materiales	vidrio grabado al ácido
Fecha	2004

Aunque esta lámpara se fabricó mediante soplado manual, los lados rectos y la forma simétrica se consiguieron soplando el vidrio dentro de un molde. Por lo general, la forma de una pieza soplada a mano se controla únicamente mediante una serie de herramientas manuales, tal como ilustran las fotografías de la derecha.

Esta técnica viene utilizándose desde hace más de dos mil años para fabricar numerosos productos, desde vajilla de mesa hasta piezas de artesanía. Consiste en insuflar aire por un tubo metálico para inflar un globo formado por vidrio colocado al otro extremo del tubo. Antes de la aparición del soplado, los objetos de vidrio se fabricaban sumergiendo un núcleo de arena en vidrio fundido y después haciéndolo rodar contra una superficie plana para controlar su forma. Una vez enfriada la pieza, se podía retirar la arena, con lo que el resultado era un recipiente hueco.



1 Se acumula una masa de vidrio fundido en un extremo de un tubo de acero por el que se puede soplar.



2 Se utilizan diversas herramientas manuales para dar forma al vidrio caliente, en este caso paños húmedos superpuestos.

Con la introducción de la técnica del soplado surgieron toda una serie de posibilidades nuevas, no sólo en lo tocante a la forma, sino también porque así pudo ampliarse la disponibilidad del propio material.

En la actualidad, esta técnica manual se sigue utilizando a escala industrial

para producir una amplia gama de productos soplados en moldes, desde lámparas hasta copas de vino. El vidrio soplado a mano constituye un valioso puente entre los artículos de cristalería, que requieren un costoso maquinado y volúmenes de producción muy altos, y las piezas individuales de encargo.

Volúmenes de producción

Piezas individuales y producción de lotes.

Precio unitario frente a inversión de capital

El coste mayor es la mano de obra del soplador. Suponiendo que se quiera producir un lote con formas idénticas, siempre se pueden usar moldes. Según qué cantidades exactas queramos producir, estos moldes estarán hechos con materiales –por ejemplo, madera, yeso o grafito– que duren más o menos.

Velocidad

Depende por completo de la escala y complejidad de la pieza y de si el soplado se hace o no en un molde.

Superficie

Excelente.

Tipos/complejidad de la forma

Con el vidrio soplado sin molde podemos obtener prácticamente cualquier forma.

Tamaño

Tan grande como lo permitan los pulmones del soplador, teniendo en cuenta que este artesano también tiene que aguantar el peso del vidrio al extremo del tubo.

Tolerancias

A este respecto, es difícil alcanzar una gran precisión, puesto que estamos hablando de un proceso manual.

Materiales relevantes

Cualquier tipo de vidrio.

Productos habituales

Cualquier cosa, desde vajilla de mesa hasta esculturas.

Métodos similares

Moldeo del vidrio al soplete (véase pág. 100) y soplado mecánico del vidrio, sea por soplado y resoplado (véase pág. 102) o mediante la técnica del prensado y soplado (véase pág. 106).

Información complementaria

www.nazeing-glass.com

www.kostaboda.se

www.glassblowers.org/

www2.cemr.wvu.edu/~wwwpwi/glass

www.handmade-glass.com

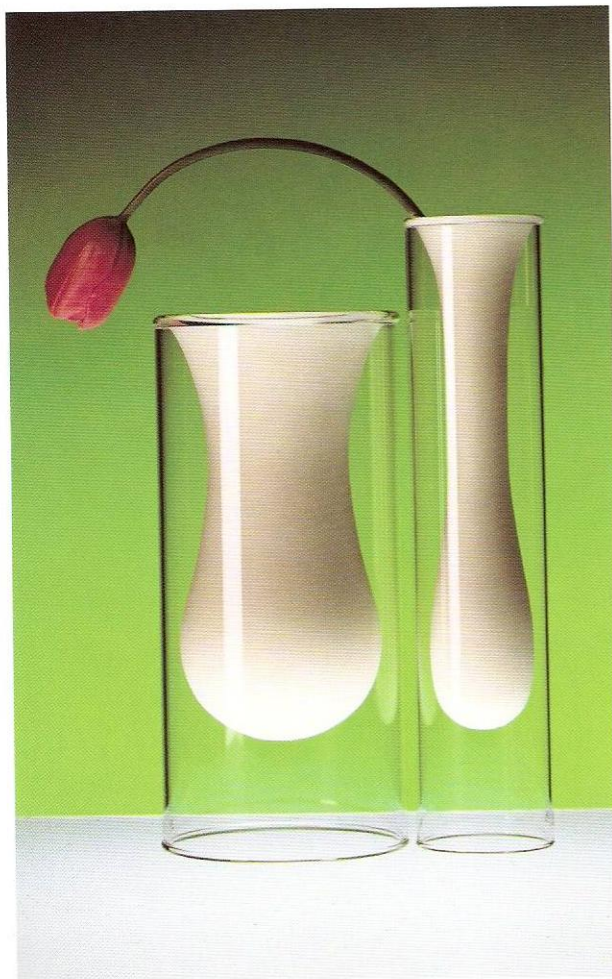


- **Proceso lo suficientemente flexible como para producir formas diferentes.**
- **Sirve para piezas individuales, lotes o volúmenes de producción intermedios.**



- **Las unidades pueden resultar caras debido al coste de la mano de obra.**

Moldeo de tubo de vidrio al soplete



Producto	jarrones de vidrio fino
Diseñador	Olgoj Chorchoj
Materiales	vidrio de borosilicato
País	República Checa
Fecha	2001

Estos elegantes jarrones ilustran la complejidad de productos que se pueden moldear por este método. La forma blanca y opaca del interior y el tubo transparente del exterior se fabricaron por separado y se unieron en el torno en una fase posterior.

Existen cientos de formas de trabajar el vidrio a mano, tanto para procesos en frío (el cortado, por ejemplo) como en caliente. Todas esas variedades de proceso permiten fabricar objetos sin necesidad de maquinado. El moldeo al soplado consiste en aplicar calor de forma localizada a una pieza de vidrio para que la pueda manipular y modelar un artesano cualificado. Se trata de una alternativa intermedia para el moldeo de vidrio, a caballo entre el caro moldeo manual y la fabricación en masa que requiere maquinado. Es, pues, un método ideal para producciones pequeñas.

El proceso comienza con la colocación de un tubo hueco de vidrio en un torno giratorio de rotación lenta. Se aplica entonces el calor procedente de un soplete a determinados puntos que después se ahorman con una herramienta de madera. El moldeo al soplete, en definitiva, conforma por presión una pieza de vidrio blando y maleable. Según se quieran formas cerradas o abiertas, se puede dejar abiertos los extremos o bien enrollarlos y sellarlos.



Se aplica calor en un punto concreto de un tubo de vidrio mientras lo giramos sobre un torno. Luego introducimos la horma de madera.



Volúmenes de producción

Una de las grandes ventajas de este tipo de proceso semimanual es que no hay un máximo de unidades que puedan fabricarse: sirve para piezas de encargo y también para producir varios miles de unidades. En el caso de que se quiera producir más de mil piezas, quizás merezca la pena plantearse utilizar un equipamiento semiautomatizado.

Precio unitario frente a inversión de capital

El precio por unidad es relativamente bajo para un producto que se puede modificar y adaptar fácilmente. La inversión de capital es inexistente, ya que no hay máquinas.

Velocidad

Varía según la complejidad de la forma.

Superficie

Excelente.

Tipos/complejidad de la forma

Las limitaciones en este aspecto tienen que ver con la simetría, ya que el tubo de vidrio gira sobre un único eje. De todas formas, el postconformado del vidrio una vez retirado del torno permite la adición de detalles de diseño. La cristalería de laboratorio se fabrica con este método, lo que da una idea de su complejidad. La pared del material suele tener secciones bastante delgadas.

Tamaño

La escala de los productos está limitada por el tipo de torno y por la destreza del artesano.

Tolerancias

Puesto que se trata de un proceso manual, las tolerancias no son muy altas.

Materiales relevantes

Se utiliza casi exclusivamente con vidrio de borosilicato.

Productos habituales

Gran variedad de productos, desde aparatos de laboratorio y envases hasta aceiteras y vinajeras (de esas que vemos en las tiendas de *delicatessen*, en las cuales la botella de vinagre está encerrada en la de aceite), termómetros y lámparas.

Métodos similares

Soplado manual del vidrio (véase pág. 98).

Información complementaria

www.asgs-glass.org

www.bssg.co.uk



- Es un proceso muy versátil.
- Gran variedad de formas, incluso en un mismo lote.
- Rentable para experimentos y prototipos.
- Permite crear formas complejas.
- Es un tipo de proceso que se usa en la fabricación de lotes de cristalería sin necesidad de invertir en maquinaria.

- No resulta rentable para grandes producciones.

Moldeo del vidrio por soplado y resoplado



Existen distintas formas de fabricar productos que se basan en insuflar aire en un material –o en aspirarlo–, y muchas de ellas aparecen descritas en este libro. Aunque hay variantes del moldeo por soplado que pueden usarse con plásticos (véase, por ejemplo, el moldeo por inyección-soplado, pág. 111) e incluso –a escala limitada– con metales (véase inflado de metales, pág. 62, y el superformado de aluminio, pág. 56), lo cierto es que esta técnica sigue siendo uno de los principales métodos de producción industrial en masa de objetos de vidrio. El moldeo industrial por soplado que se practica en la actualidad consta de dos procedimientos fundamentales: el soplado y resoplado por un lado, y el prensado y soplado por otro (véase pág. 106). La técnica del soplado y resoplado que aquí aparece descrita se utiliza para hacer botellas de cuello estrecho, como por ejemplo las botellas de vino. Naturalmente, el término «vidrio soplado» se puede aplicar a piezas individuales de encargo hechas a mano (véase el soplado manual de vidrio, pág. 98), pero aquí nos referimos al proceso a gran escala capaz de producir cientos de miles de unidades al día.

Producto	botella de salsa de soja Kikkoman
Diseñador	Kenji Ekuan
Materiales	vidrio sodocálcico
Fabricante	Kikkoman Corporation
País	Japón
Fecha	1961

Las proporciones y el cuello estrecho de esta botella clásica de salsa de soja son típicos del moldeo de vidrio por soplado y resoplado. Las líneas divisorias, que apenas se ven, muestran el punto en que se han separado las dos mitades del molde. El tapón de plástico rojo está moldeado por inyección.

Para fabricar un producto mediante moldeo por soplado y resoplado, se lleva al nivel superior de la planta industrial una mezcla de arena, carbonato de sodio y carbonato de calcio. Allí se calienta a una temperatura de 1.550 °C en el interior de un horno cuyas dimensiones pueden alcanzar las de un pequeño cuarto de estar. El vidrio así fundido sale en forma de gruesos chorizos –las «gotas»– que la propia gravedad arrastra al interior de las máquinas conformadoras. En esta fase, se inyecta

aire a la gota para formar parcialmente la botella, cuello incluido. Se retira entonces este vidrio semiconformado, se le hace girar 180 grados y se le fija en el interior de otro molde. En este punto, se inyecta aire en el molde para obtener la forma definitiva. A continuación se abren las diversas partes del molde, se extrae la botella y se la coloca en una cinta transportadora que la conducirá a un horno de recocido para eliminar cualquier tensión en el vidrio.

Volúmenes de producción

Entre varios miles y cientos de miles de unidades por cada 24 horas. Para conseguir un precio económico, la producción mínima sería de unas 50.000 unidades. El peso del vidrio, no obstante, es uno de los principales factores determinantes de la velocidad, siendo frecuentes ritmos de producción de unas 170.000 unidades diarias.

Precio unitario frente a inversión de capital

Nos encontramos ante un proceso destinado a altos volúmenes de producción en masa. Los costes de mecanizado son elevados, de suerte que para que estos productos de vidrio sean rentables, las tandas de fabricación tienen que durar días enteros en ciclos de 24 horas.

Velocidad

Dependiendo del tamaño de la botella, se puede disponer el equipamiento de producción para acomodar simultáneamente varios moldes en una misma máquina. Ello puede incrementar enormemente la producción, alcanzándose una velocidad aproximada de 15.000 piezas a la hora.

Superficie

Acabado excelente: no hay más que mirar cualquier botella de vino.

Tipos/complejidad de la forma

El procedimiento se limita a formas bastante simples. En la producción de vidrio a gran escala, las formas tienen que diseñarse con sumo cuidado para que los moldes puedan abrirse con facilidad. Así, por ejemplo, no pueden tener esquinas muy pronunciadas,

rebajes o zonas planas muy extensas. De hecho, el método del soplado y resoplado es muy rígido: es necesario consultar al fabricante si se desean diseños concretos. No hay que tomar como modelos los frascos de perfumes caros, porque aquí se trata de un caso completamente diferente.

Tamaño

Debido a la propia índole de las aplicaciones de los productos moldeados mediante soplado (sobre todo recipientes de vidrio para uso doméstico), la mayoría de los procesos de fabricación están ajustados para producir artículos con una altura máxima de 300 milímetros.

Materiales relevantes

Casi todos los tipos de vidrio.

Productos habituales

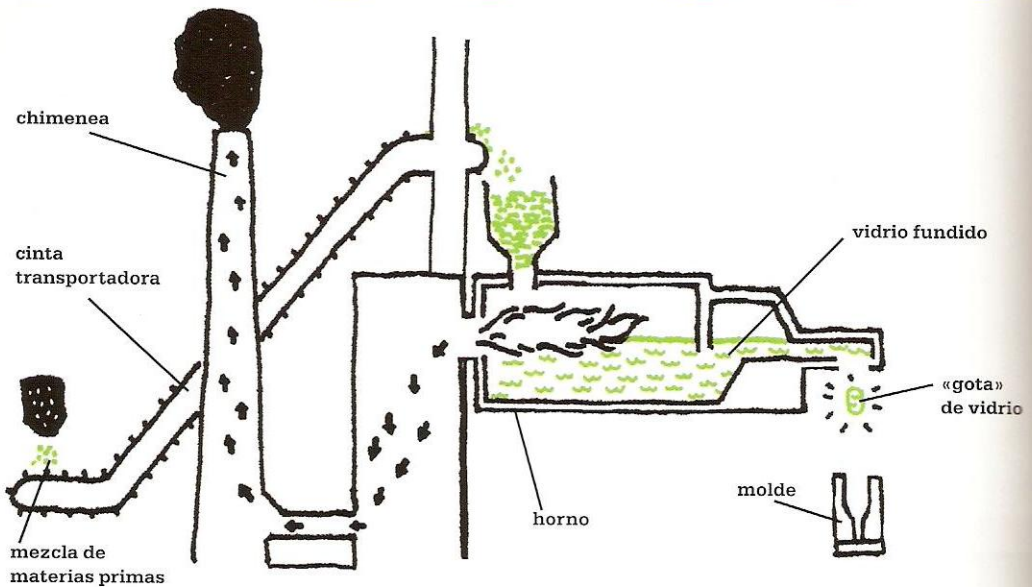
Botellas de vino y licores con el cuello estrecho. Botellas destinadas a contener aceite, vinagre y cava.

Métodos similares

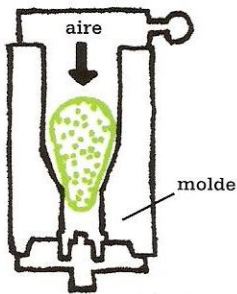
Este método se adapta a los recipientes de vidrio de cuello estrecho, pero los de cuello ancho suelen fabricarse mediante el moldeo por prensado y soplado (véase pág. 106). Para plásticos, véase el moldeo por inyección-soplado (véase pág. 111) y el moldeo por extrusión-soplado (pág. 114).

Información complementaria

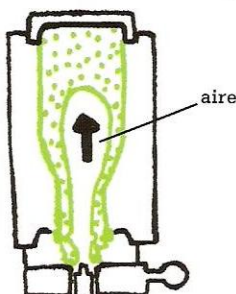
www.vetreniebruni.com
www.saint-gobain-emballage.fr
www.packaging-gateway.com
www.glassassociation.org.uk
www.glasspac.com
www.beatsonclark.co.uk



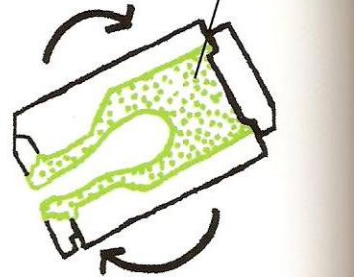
1 Se coloca en la cinta transportadora una mezcla de arena, carbonato de sodio y carbonato de calcio que es introducida en un horno ubicado en la parte superior de la fábrica. Una vez en el horno, la mezcla se calienta hasta convertirse en cristal fundido. Este cristal fundido es enviado al exterior del horno mediante una serie de platinas y, por la propia acción de la gravedad, cae formando una especie de grueso chorizo: la «gota».



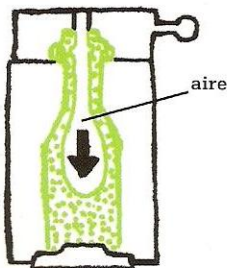
2 Introducida en el molde por la acción del aire, la gota es el punto de partida de lo que será la botella.



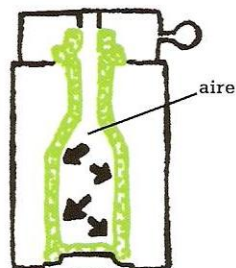
3 Se inyecta aire en el cuello para generar una pieza en tocos semiformada, ya con cuello.



4 Se hace rotar la pieza en tocos 180 grados y se la transfiere a un segundo molde.



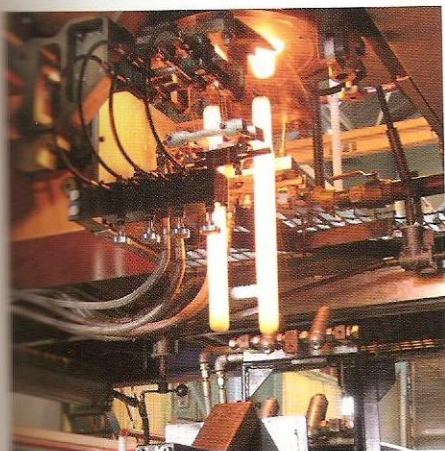
5 Se inyecta más aire.



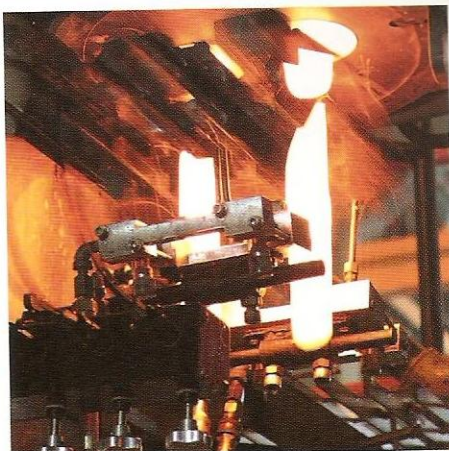
6 Se inyecta aire hasta que el soplado configura la forma definitiva y las paredes del vidrio han adquirido el espesor deseado.



7 Se extrae del molde la botella de vidrio.



1 Las gotas de vidrio caliente se dejan caer desde un horno situado en altura.



2 Se cortan las gotas de vidrio a la longitud deseada antes de dejarlas caer en el molde.



3 Las botellas, aún calientes, salen del molde.



4 Una serie de ocho máquinas moldeadoras van colocando las botellas en la cadena de producción, justo antes del recocido.



- Precio unitario muy bajo.
- Adecuado para la fabricación de recipientes de cuello estrecho.
- Velocidades de producción excepcionalmente rápidas.



- Escasísima versatilidad de este método de fabricación que se adapta sólo a altos volúmenes de producción.
- Costes de maquinaria muy elevados.
- Requiere volúmenes muy altos.
- Se restringe a la fabricación de formas huecas de gran simplicidad.
- Añadir color al vidrio puede resultar caro con este proceso, ya que implica que el producto «pase por» el coloreado al final de la producción para asegurarse de que no hay sangrado de colores.

Moldeo del vidrio por prensado y soplado

Existe una variante industrial del soplado del vidrio –la técnica conocida como «prensado y soplado»– que se utiliza para fabricar recipientes de cuello ancho como por ejemplo tarros de mermelada, en contraste con los artículos de cuello estrecho, como las botellas de vino, que se fabrican por soplado y resoplado (véase pág. 102). La diferencia principal entre estas técnicas se da durante el proceso de moldeo. Para fabricar recipientes de cuello ancho, en lugar de soplar la «gota» de vidrio, se empuja a la parte exterior de un molde convexo (véase el esquema pág. 108). Esto puede acelerar los ciclos de producción y permite un mayor control de la distribución del vidrio, de manera que se pueden conseguir paredes más delgadas. Una vez moldeados los

objetos, la cadena de producción los conduce hasta un horno de recocido donde, a lo largo de una hora, se van enfriando paulatinamente hasta alcanzar la temperatura ambiente, eliminándose así cualquier tensión del vidrio.

En el interior de las fábricas, las máquinas disparan gotas incandescentes de vidrio fundido que parecen rayos de luz precipitándose en las cavidades de los moldes vacíos. No hay nada aquí que recuerde a la teatralidad de la técnica artesana del soplado manual: cual autómatas bien engrasados, las ruidosas y humeantes máquinas son capaces de producir cientos de miles de tarros al día con el único apoyo de un puñado de hombres que supervisan este enorme dispositivo de fabricación.

Si el proceso de soplado y resoplado puede producir más de 350.000 botellas de cuello estrecho al día, este otro método es capaz de sacar 400.000 unidades (del tamaño, por ejemplo, de un tarro de mermelada) en el mismo tiempo.



Producto	tarro hermético
Materiales	vidrio sodocálcico con sello de elastómero termoplástico (ETP o TPE)
Fabricante	Vetrierie Bruni
País	Italia

La forma abierta del cuello de este tarro nos proporciona un ejemplo del típico producto para el que el moldeo por prensado y soplado es más recomendable que el moldeo por soplado y resoplado (véase pág. 102).

Ahora bien, si hablamos de botellas pequeñas fabricadas mediante «prensado y soplado», entonces la cifra sube a 900.000 unidades –pongamos por caso, pequeños envases para medicamentos– en un ciclo

ininterrumpido de 24 horas. Este tipo de fabricación continua, típica de ciertos envases para la industria alimentaria, puede prolongarse hasta diez meses, durante los cuales se producen una y otra vez los mismos artículos.

Volúmenes de producción

Oscilan entre varios miles y los cientos de miles diarios. Tan alto volumen de producción, más que derivarse del número de unidades fabricadas a la hora, es el resultado del tiempo empleado en su conjunto. Pueden necesitarse hasta ocho horas para que la producción alcance su plena capacidad, por lo que el ciclo de producción mínimo está en torno a los tres días, tiempo durante el cual las máquinas no cesan de funcionar.

Precio unitario frente a inversión de capital

Como sucede con el otro proceso parecido del soplado y resoplado (véase pág. 102), estamos hablando de un método que sólo se usa para la fabricación en masa con altos volúmenes de producción. Los costes de mecanizado resultan prohibitivos, a menos que la fabricación alcance varias decenas de miles de unidades.

Velocidad

El moldeo por prensado y soplado es algo más rápido que la fabricación por soplado y resoplado, aunque los dos comparten el hecho de que un factor determinante de la velocidad es el propio peso del vidrio. Resulta bastante normal, para un producto como un tarro grande de tomate frito, alcanzar ritmos de fabricación de 250.000 unidades diarias.

Superficie

No hay más que fijarse en un típico tarro de mermelada para ver que el acabado es excelente. No obstante, y como sucede con las botellas moldeadas por soplado y resoplado, hay que tener en cuenta las líneas testigo si se quiere añadir etiquetas.

Tipos/complejidad de la forma

Procedimiento restringido al moldeo de formas bastante simples con cuellos anchos y abiertos. En la producción de vidrio a gran escala, estas formas no pueden tener esquinas muy marcadas, rebajes o grandes áreas planas, lo que dificultaría la extracción de la pieza del molde. Si se lo compara con el soplado y resoplado, el procedimiento del prensado y soplado permite un mayor control sobre el espesor del vidrio.

Tamaño

Como sucede con la técnica del soplado y resoplado, el dispositivo de fabricación permite una altura máxima para los recipientes de 300 milímetros.

Materiales relevantes

Casi cualquier tipo de vidrio.

Productos habituales

Tarros de conservas y licoreras de cuello ancho. Frascos –también de cuello ancho– para medicamentos y otros productos. Envases para productos de alimentación.

Métodos similares

En el caso del vidrio, moldeo por soplado y resoplado (véase pág. 102), moldeo al soplete (véase pág. 100) y moldeo manual (véase pág. 98). Si se trata de plásticos, el moldeo por soplado (véase pág. 109) y moldeo por extrusión-soplado (véase pág. 114).

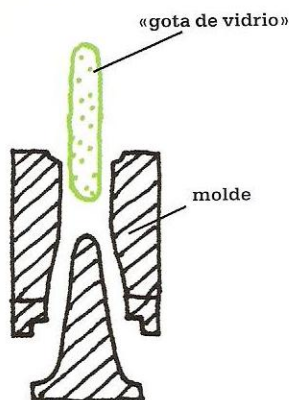
Información complementaria

www.vetrierebruni.com

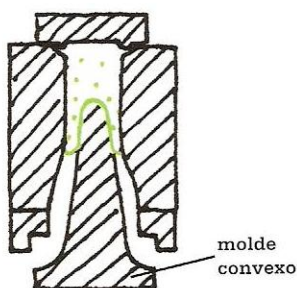
www.britglass.org.uk

www.saint-gobain-conditionnement.com

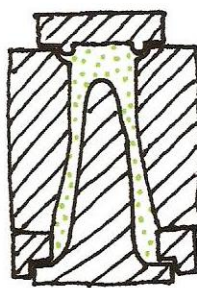
www.beatsonclark.co.uk



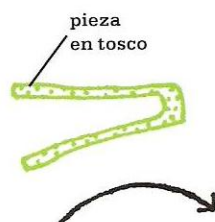
1 Las máquinas escupen «gotas» de vidrio fundido, cada una de las cuales se precipita sobre un molde vacío.



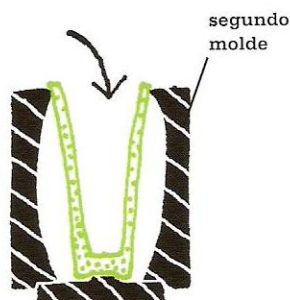
2 La parte convexa del molde comienza a dar forma al vidrio tan pronto como éste cae encima.



3 Se empuja el vidrio blando contra el molde para formar una pieza en tosco.



4 Se hace girar 180 grados la pieza en tosco.



5 La pieza en tosco se transfiere a un segundo molde.



6 Se utiliza aire para soplar el vidrio contra el molde y obtener así la forma definitiva.



- Precio unitario muy bajo.
- Adecuado para la fabricación de recipientes de paredes delgadas y cuellos abiertos.
- Velocidades de producción excepcionalmente rápidas.
- Tiempos de ciclo muy rápidos.



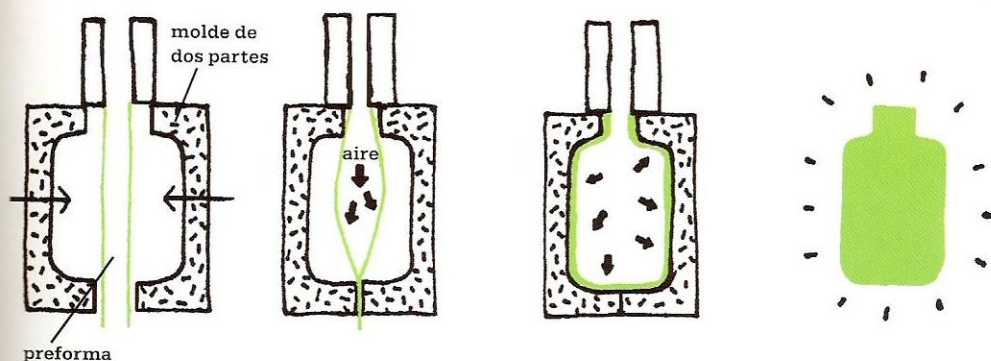
- Costes de mecanizado muy elevados.
- Sólo sirve para formas huecas bastante sencillas.
- Añadir color al vidrio puede resultar caro, como también lo es hacer el coloreado al final de la producción para mantener limpia la maquinaria.
- Para que resulte rentable, hay que producir volúmenes muy altos.

Moldeo de plásticos por soplado

El moldeo por soplado constituye un término muy amplio que engloba distintas variantes de uno de los principales métodos industriales de producción en masa para la fabricación de artículos huecos. En cierto sentido, se trata de un proceso un tanto raro, ya que se usa por igual para moldear recipientes de plástico y botellas de vidrio (véanse el moldeo de vidrio por soplado y resoplado, pág. 102, y el moldeo de vidrio por prensado y soplado, pág. 106).

Existen diversas técnicas de soplado en función de los materiales plásticos, entre las cuales se incluyen por ejemplo el moldeo por inyección-soplado y el moldeo por inyección-estirado (véase pág. 111), así como el moldeo

por extrusión y coextrusión-soplado (véase pág. 114). Todas estas técnicas difieren entre sí por su distinto potencial a la hora de crear formas, pero operan, por decirlo en términos sencillos, según un principio común parecido al del inflado de un globo. El proceso comienza cuando se introduce una preforma en un molde de dos partes. El cierre del molde sirve para recortar el material a una longitud conveniente y para formar un sello a un extremo del plástico. Esta forma, semejante a una tubería, se introduce seguidamente en un segundo molde, donde se insufla aire, forzando así al plástico a expandirse contra la cavidad del molde y adquirir, por lo tanto, su forma definitiva. Hecho esto, se abre el molde y se libera la pieza.



1 Una preforma como una tubería es introducida en un molde de dos partes.

2 Se cierra el molde, cortando el material conforme a la longitud deseada y creando un sello en un extremo del plástico.

3 Se insufla aire en la preforma, obligando al plástico a expandirse contra la cavidad del molde y produciendo así la forma definitiva.

4 Se abre el molde y se libera la pieza.



Volúmenes de producción

Según tamaños y materiales, el moldeo por soplado puede ser una forma de producción extremadamente rápida, capaz de fabricar desde 500 unidades a la hora hasta más de un millón de unidades por ciclo de 24 horas. Para aprovechar al máximo este proceso, en términos de ahorro de costes, los volúmenes de producción deben rondar los cientos de miles.

Precio unitario frente a inversión de capital

Los precios unitarios de la mayoría de las piezas convencionales moldeadas por soplado son muy bajos, lo que se evidencia aún más si pensamos en la cantidad de productos y envases baratos que se fabrican mediante este proceso. Esta economía de escala contrarresta los altísimos costes del equipamiento mecánico.

Velocidad

Es posible fabricar pequeños envases en moldes de cavidades múltiples para obtener un ritmo aproximado de producción de 60.000 botellas pequeñas (de menos de 700 mililitros) de tereftalato de polietileno (PET) cada hora.

Superficie

Acabado excelente, aunque a lo largo de la pieza se sigue notando la línea divisoria.

Tipo/complejidad de la forma

Depende del proceso concreto que se utilice, pero por lo general las formas moldeadas mediante soplado suelen ser sencillas y redondas. Aunque se pueden hacer productos que no tengan ángulos de

inclinación lateral, los fabricantes suelen preferir una pequeña inclinación.

Tamaño

Desde envases pequeños para cosméticos hasta piezas que superan los 25 kilogramos de peso.

Materiales relevantes

El polietileno de alta densidad (HDPE), de aspecto cerúleo, es uno de los materiales más frecuentemente utilizados en este proceso. Otros materiales son el polipropileno, el polietileno, el tereftalato de polietileno (PET) y el cloruro de polivinilo (PVC).

Productos habituales

Lo más probable es que en cualquiera de nuestros domicilios haya un gran armario o vitrina lleno de distintos envases de plástico que en la actualidad se moldean por soplado. Básicamente, los artículos fabricados por medio de esta técnica abarcan casi cualquier tipología: desde envases de leche fabricados en plástico y botes de champú hasta juguetes, tubos de pasta dentífrica, envases de detergente, regaderas y, ya fuera del ámbito del hogar, depósitos de combustible para automóviles.

Métodos similares

Moldeo por estirado, moldeo por extrusión-soplado (véase pág. 114), moldeo por inyección-soplado y moldeo por coextrusión-soplado (véase pág. 114).

Información complementaria

www.rpc-groupag.com
www.bpf.co.uk



- Precio unitario muy bajo.
- Ritmos de producción excepcionalmente rápidos.
- Sirve para moldear detalles (roscas, por ejemplo).



- Altos costes de mecanizado.
- Para que sea rentable hay que producir grandes volúmenes.
- Sólo sirve para moldear formas huecas bastante sencillas.

Moldeo por inyección-soplado

con moldeo por inyección-estirado

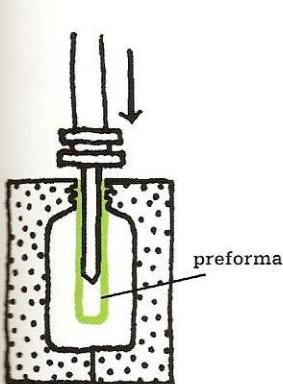
La manera más sencilla de describir el moldeo por inyección-soplado consiste en decir que es una subdivisión del moldeo de plásticos por soplado (véase pág. 109), ese proceso parecido al inflado de un globo, sólo que aquí el inflado se realiza dentro de un molde, causante de la forma final del producto.

Como su propio nombre indica, se trata de un proceso de moldeo en dos fases que presenta una serie de ventajas sobre otros sistemas de moldeo por soplado, ya que nos permite crear formas mucho más complejas en torno al cuello de la pieza. Para su realización, se fabrica primero una preforma hueca mediante moldeo por inyección (véase pág. 178), lo que posibilita el labrado de una rosca compleja en el cuello del envase.

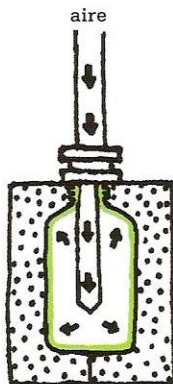
A continuación, se coloca esta preforma en la cavidad del molde, donde se insufla aire. Este último presiona el plástico contra la propia cavidad.

La utilización de una preforma moldeada por inyección supone que este método ofrece una estabilidad y un control de la forma mayores que los que se obtienen mediante el moldeo por extrusión-soplado (véase pág. 144), si bien aquí podemos utilizar menos variedad de materiales.

El moldeo por inyección-estirado, un método que se utiliza para los productos de tereftalato de polietileno (PET) más caros de la gama (botellas, por ejemplo), recurre a una barra para estirar una preforma en el interior de un molde antes de proceder al soplado.



1 Se coloca en el molde una preforma moldeada por inyección.



2 Se inyecta aire comprimido, que efectúa el soplado de la preforma en el interior del molde para así configurar la forma definitiva.



3 Se abre el molde y se libera la pieza.

preforma moldeada
por inyección (izquierda)
y botella moldeada
por soplado (derecha)

Producto	por soplado (derecha)
Materiales	tereftalato de polietileno (PET)
País	Alemania

Esta preforma y la botella resultante del soplado posterior nos muestran sin necesidad de explicaciones complejas lo sencillo que resulta el proceso que se utiliza en la fabricación de los millones de botellas de plástico que ensucian nuestros paisajes urbanos. La ventaja de recurrir al moldeo por inyección se hace patente si observamos los detalles de la rosca moldeada alrededor del cuello de la preforma.



Volúmenes de producción

El moldeo por inyección-soplado se adapta a la perfección a los grandes volúmenes de producción, llegándose con frecuencia a los millones de unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

El maquinado es caro, tanto para la fase de inyección como para la de soplado, y los costes de preparación del sistema encarecen aún más el proceso. Sin embargo, los precios unitarios pueden ser bajísimos a causa de los enormes volúmenes de producción. Eso justifica los elevados costes de partida.

Velocidad

Resulta difícil establecer con exactitud las velocidades de producción de las distintas formas de moldeo por soplado, ya que intervienen variables como el tamaño del producto y el número de cavidades del molde utilizadas en el proceso. Podemos decir, no obstante, que la típica botella de 150 mililitros se puede fabricar por inyección-soplado a un ritmo de 2.400 unidades a la hora.

Superficie

Acabado excelente.

Tipos/complejidad de la forma

El moldeo por inyección-soplado se adapta a la fabricación de formas bastante simples en

las que el radio es bastante grande y el espesor de la pared del producto resulta homogéneo en toda la pieza.

Tamaño

Se suele utilizar en la fabricación de envases cuya capacidad sea inferior a los 250 mililitros.

Materiales relevantes

Si se lo compara con el moldeo por extrusión-soplado (véase pág. 114), este método se adapta mejor a los materiales más rígidos, como el policarbonato (PC) y el tereftalato de polietileno (PET). Sin embargo, se suele utilizar también con materiales no rígidos, como el polietileno (PE).

Productos habituales

Envases pequeños de champú, detergente, etcétera.

Métodos similares

Para plásticos, el moldeo por extrusión-soplado (véase pág. 114), y para vidrio, el moldeo por prensado y soplado (véase pág. 106).

Información complementaria

www.rpc-groupag.com

www.bpf.co.uk



- Precio unitario muy bajo.
- Velocidades de producción excepcionalmente rápidas.
- Se adapta a la fabricación de envases pequeños.
- Permite un mayor control del diseño del cuello, peso y espesor de la pared que otros métodos de moldeo por soplado.



- Los costes de mecanizado son más altos que en el moldeo por extrusión-soplado (véase pág. 114).
- Exige grandes volúmenes de producción.
- Método restringido a formas huecas bastante simples.

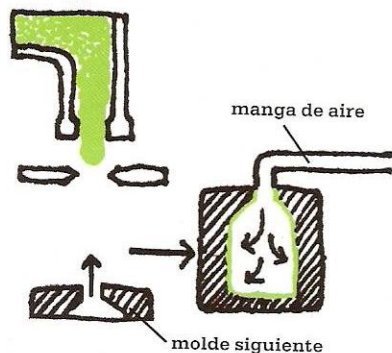
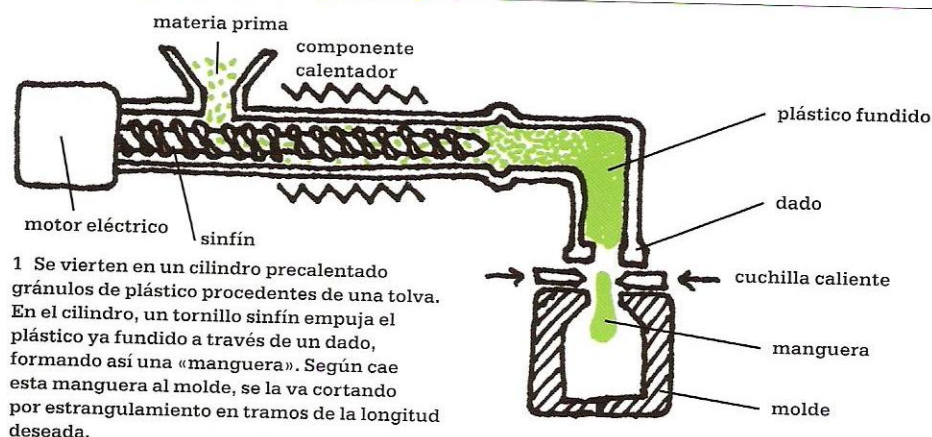
Moldeo por extrusión-soplado

con moldeo por coextrusión-soplado

El moldeo por extrusión-soplado es uno de los varios procesos que moldean el plástico mediante soplado (véase pág. 109). Más concretamente, con este método el plástico es extrudido (véase extrusión, pág. 78) en forma de chorizo o «manguera» que se va estrangulando en tramos cortos a medida que cae en la cavidad del molde. Una vez allí dentro, se insufla aire para forzar el plástico contra

la propia cavidad y obtener así la forma definitiva. El proceso deja un sobrante de material procedente del estrangulado (una «cola») que hay que retirar, aunque en el producto final suelen quedar vestigios de esta rebaba (por ejemplo, en la base de cualquier bote de champán).

En el moldeo por coextrusión-soplado se combinan materiales distintos para formar un producto con múltiples capas.





Volúmenes de producción

A diferencia del moldeo por inyección-soplado (véase pág. 111), que ofrece la posibilidad de producciones millonarias, el moldeo por extrusión-soplado se puede utilizar para producciones mucho más cortas, que a veces sólo alcanzan las 20.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

Aunque los costes son inferiores a los del moldeo por inyección-soplado (como un tercio menos), el montaje del dispositivo de producción sigue siendo costoso.

Velocidad

Al igual que pasa con otros métodos parecidos, el ritmo de producción viene determinado por el peso de la pieza fabricada: un envase típico de 5 litros se puede fabricar a un ritmo de 1.000 unidades por hora (usando una única máquina con cuatro moldes operando al mismo tiempo). Las botellas de leche moldeadas por soplado que nos encontramos en los supermercados se han fabricado a una velocidad que ronda las 2.000 unidades por hora.

Superficie

Acabado excelente.

Tipos/complejidad de la forma

El moldeo por extrusión-soplado se adecua a la fabricación de formas más grandes y complejas que las producidas por inyección-

soplado, destacando por ejemplo las asas integradas en los envases de leche fabricados en plástico o en los bidones de gasolina que vemos en las gasolineras.

Tamaño

Aunque el proceso sirve para fabricar el tradicional envase de champú, también se adapta a la producción de tiradas pequeñas, pudiéndose utilizar en la manufacturación de los productos más grandes de entre la gama del soplado del plástico, es decir, productos que suelen superar los 500 mililitros.

Materiales relevantes

Polipropileno (PP), polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET) y cloruro de polivinilo (PVC).

Productos habituales

El moldeo por extrusión-soplado es un procedimiento óptimo para la fabricación de productos más grandes, entre los que se suelen incluir juguetes, bidones de aceite y depósitos de combustible para automóviles, así como grandes envases de detergente.

Métodos similares

Moldeo por inyección-soplado (véase pág. 111) y moldeo rotativo (véase pág. 119).

Información complementaria

www.rpc-groupag.com

www.bpf.co.uk

www.weltonhurst.co.uk



- Precio unitario muy bajo.
- Altas velocidades de producción.
- Adecuado para la fabricación de envases grandes de más de 500 mililitros.
- Comparado con el moldeo por inyección-soplado (véase pág. 111), este procedimiento es capaz de fabricar formas más complejas.
- Costes de maquinaria más bajos que en el moldeo por inyección-soplado.

- Exige grandes volúmenes de producción.

Moldeo por inmersión



Sumergir una forma en un material previamente fundido (o que, más genéricamente, se encuentra en estado líquido) es seguramente uno de los métodos más antiguos de moldeo. También se trata de una de las técnicas más sencillas de entender y, por lo que respecta a herramientas y moldes, uno de los métodos más baratos de fabricar productos de plástico.

Si nos regalan un molde de cerámica como el que aparece en la ilustración, nos están entregando lo que en el mundo (en general oculto) de la manufacturación constituye una verdadera joya. Los artistas (por ejemplo, Rachel Whiteread con su galardonada obra *House*, una escultura de hormigón realizada en 1993) han explorado muchas veces los espacios negativos del entorno en que nos movemos. De un modo parecido, pequeñas joyas como este molde nos procuran una visión única

Producto	molde para hacer globos (extremo izquierda) y globo (izquierda)
Diseñador	Michael Faraday creó el primer globo de goma en 1824
Materiales	molde de loza cerámica; globo de látex
Fabricante	Wade Ceramics Limited (molde)

Este sencillo molde de cerámica ilustra a la perfección el principio que subyace al moldeo por inmersión y nos muestra cómo se fabrican productos huecos como el globo de la fotografía.

del mundo de la producción desde un punto de vista inusual. La forma bulbosa de la fotografía nos resulta vagamente familiar, sin que sepamos decir con exactitud de qué se trata hasta que se nos informa de que en realidad en un molde de cerámica utilizado en la fabricación de globos.

En principio, el proceso del moldeo por inmersión no puede ser más simple.

Como indica su propio nombre, **se trata únicamente de sumergir un molde en un baño de polímero líquido para luego dejarlo curar y separar molde y material.** En la práctica, resulta un poco más complejo, ya que el moldeo por inmersión se puede adaptar a materiales y dispositivos de producción muy distintos. Sin embargo, el principio básico sigue siendo el mismo.

Volúmenes de producción

Desde producción de lotes hasta fabricación de grandes volúmenes en masa.

Precio unitario frente a inversión de capital

Ésta es una de las maneras más baratas de fabricar en masa productos de plástico, con una maquinaria asequible y gran facilidad para producir muestras, manteniéndose en todo caso la rentabilidad de las piezas unitarias.

Velocidad

El proceso implica muchas fases –el precalentado del molde, la inmersión, el curado y, finalmente, el pelado del molde para extraer la pieza moldeada–, lo que significa que, si se ejecuta manualmente, la técnica es lenta. Los moldeos que implican cierta complejidad pueden consumir hasta 45 minutos en su realización, mientras que la producción de formas muy sencillas –tales como tapones de cierre o, por ejemplo, los puños de un manillar de bici sencillo– se puede automatizar por completo y realizarse en tan sólo 30 segundos.

Superficie

El exterior del producto, determinado por el material en su estado natural, puede tener una pequeña rebaba puntiaguda que delata el goteo del polímero desde el molde.

Tipos/complejidad de la forma

Formas blandas, elásticas, flexibles –aunque bastante sencillas–. La forma de los productos ha de permitir el pelado del molde.

Tamaño

La escala de los artículos moldeados por inmersión sólo la restringe en teoría el tamaño de la cubeta que contiene el baño de polímero, aunque por lo general las piezas moldeadas oscilan entre los tapones de 1 milímetro de diámetro a las cubiertas industriales para tuberías, cuyo diámetro es de 600 milímetros.

Tolerancias

El moldeo por inmersión no alcanza un alto nivel de precisión, salvo en lo que respecta a las dimensiones internas.

Materiales relevantes

Por la propia naturaleza del proceso, que implica el desvestir el molde para retirar la pieza, sólo se pueden usar materiales blandos y piezas estirables por encima del molde: PVC, látex, poliuretanos, elastómeros y siliconas.

Productos habituales

Toda una gama de productos flexibles y semirrígidos: desde guantes de fregar y guantes quirúrgicos hasta globos, sin olvidarnos de los esos puños blandos y cerosos que recubren los manillares de las bicicletas infantiles.

Métodos similares

Es una alternativa económica al moldeo de plásticos por soplado (véase pág. 109) y al moldeo rotativo (véase pág. 119).

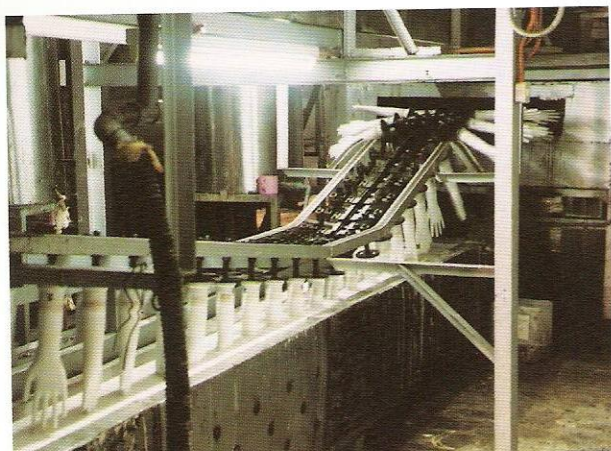
Información complementaria

www.wjc.co.uk

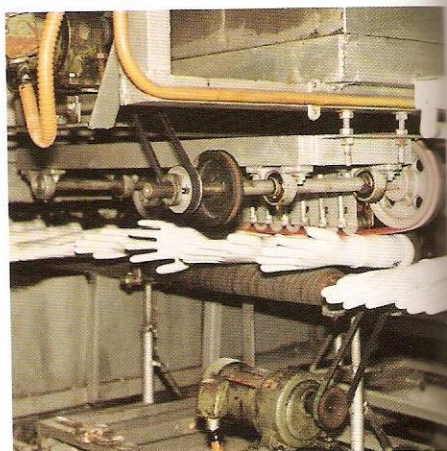
www.uptechnology.com

www.wade.co.uk

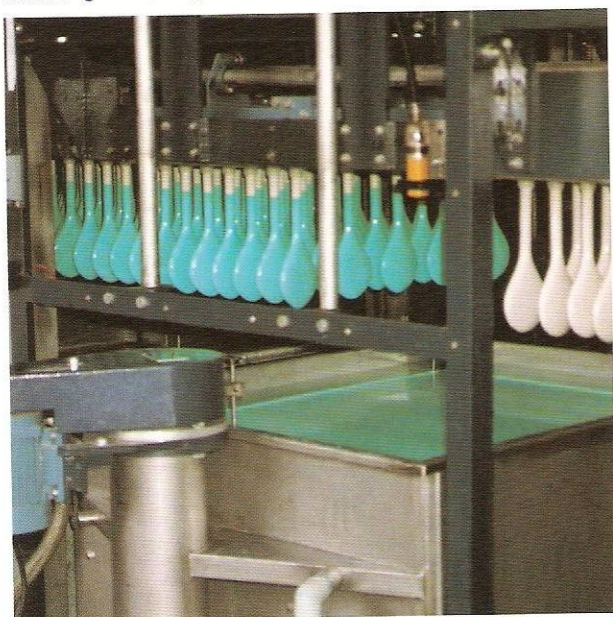
www.qualatex.com



1 Vemos aquí una cadena de producción automatizada que ilustra el proceso de inmersión de moldes de cerámica para fabricar guantes de goma.



2 Secado de los guantes de goma.



3 Cubeta llena de látex de color azul celeste para la fabricación de globos.



- Muy rentable para producciones cortas.
- En cuestión de días es posible fabricar un prototipo de molde y muestras del producto.



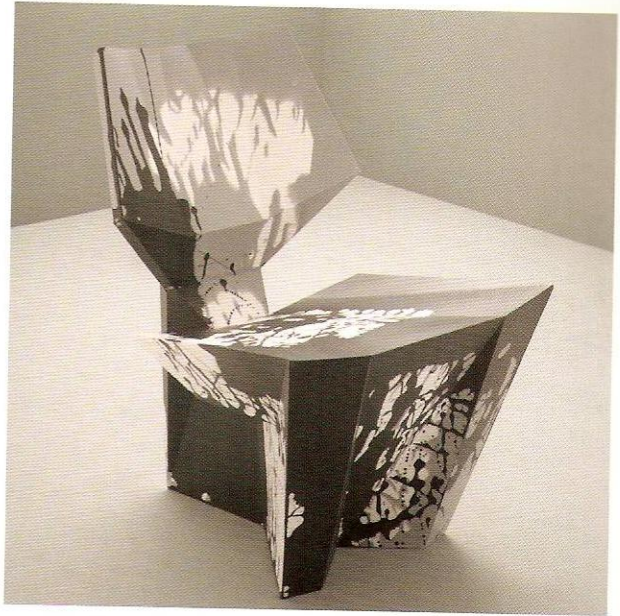
- Sólo sirve para moldear formas simples.

Moldeo rotativo

TAMBIÉN LLAMADO rotomoldeo y vaciado rotativo

El moldeo rotativo tiene que ver con la fabricación de objetos huecos. Si alguna vez se ha preguntado usted cómo se hacen los huevos de Pascua realizados en chocolate, encontrará la respuesta en este método de producción. Y es que uno de los aspectos más interesantes del moldeo rotativo es que la blandura y redondez que caracterizan la estética de sus productos se derivan en buena medida de las propias limitaciones del proceso. Nos encontramos ante un método muy distinto al moldeo por inyección (véase pág. 178), que utiliza la presión para inyectar el material en el molde y que produce perfiles muy marcados y detalles muy precisos. El rotomoldeo —pues también se llama así— ocurre únicamente al calor y a la rotación de un molde para dar forma a las piezas, por lo que carece de la finura de las piezas conformadas por presión.

En cierto sentido, el moldeo rotativo se basa en un principio parecido al del vaciado de cerámica (véase pág. 122). En ambos métodos se acumula un material líquido en la cavidad interna de un molde con el propósito de fabricar piezas huecas. Se trata de un sencillo proceso articulado en cuatro pasos que empieza con la adición de un polímero pulverizado a un dado frío. La cantidad de polvo en relación al tamaño del dado determina el grosor de la pared del producto final. El segundo paso es el calentamiento uniforme del dado en el interior de un horno mientras se le obliga a que rote lentamente sobre dos ejes. De este modo, el polímero se centrifuga en el interior del dado, donde se va acumulando en las paredes para finalmente crear una forma hueca. Por último, se enfría el dado mientras



Producto	silla Pollock
Diseñadores	Tom Vaughan y William Smith
Materiales	polietileno
Fabricante	producción propia de los diseñadores
País	Reino Unido
Fecha	2004

Los ángulos muy marcados que caracterizan el perfil de esta silla constituyen un rasgo infrecuente en un proceso que, por lo general, produce piezas con esquinas abiertas y suaves. Son, en todo caso, un reflejo de la modesta lámina de aluminio, angulosa y plegada, utilizada para hacer el molde. Se recurrió a un aditivo para que el plástico fluyera mejor hasta el interior de esas esquinas tan acentuadas y para evitar las burbujas de aire que suelen aparecer en este tipo de bordes. El efecto de salpicado típico del estilo «Pollock» se consiguió mediante el estampado del propio material contra las paredes del molde, ya que aquél giraba a una velocidad superior a la normal.

aún gira con aire o agua y se retira el producto.

La silla Pollock aquí mostrada encierra una historia poco común, la de una auténtica fábrica construida en el cobertizo de un patio donde, con cinta aislante y láminas de diversos materiales, se reinventa la conocida y tradicional técnica del moldeo rotativo.

La forma inicial de la silla se definió en una maqueta de cartulina. Una vez decidida la forma definitiva, se volvió a construir la pieza (utilizando esta vez un material elástico como es la lámina de polipropileno), que luego se copió para formar una plantilla de aluminio: un silueteado plano hecho a partir de una forma tridimensional que se puede

Volúmenes de producción

Desde producciones de lotes hasta fabricación en masa de grandes volúmenes.

Precio unitario frente a inversión de capital

El montaje y la operación del sistema resultan menos caros que en el moldeo por inyección (véase pág. 178). Al no intervenir el componente de la presión, los moldes son más sencillos y baratos. Los costes por unidad siguen siendo muy bajos.

Velocidad

En ésta influyen el tamaño del producto y el grosor de la pared, factores ambos que condicionan la duración del ciclo de refrigerado. En algunos objetos, como por ejemplo bidones de plástico para guardar líquidos, puede ser necesario perforar a mano los agujeros de entrada y salida del contenido.

Superficie

En la superficie interna pueden quedar volutas como resultado del propio proceso de moldeo del plástico. La superficie que está en contacto con el molde posee una calidad muy superior. Aunque quizás no podamos obtener un acabado supersatinado, sí es posible preparar el molde para que imprima acabados mates que oculten pequeños defectos. También se pueden moldear las piezas con inserciones gráficas.

Tipos/complejidad de la forma

El proceso se puede adaptar a muchas formas distintas que incluyen la posibilidad de rebajes. El espesor de la pared ha de mantenerse uniforme en toda la pieza (entre 2 y 15 milímetros, más o menos). A diferencia de otros procesos, puede producirse una acumulación de material en las esquinas, lo que las convierte en la parte más robusta del producto.

Tamaño

Empezando por los ya mencionados huevos de Pascua, esta técnica permite fabricar productos huecos de hasta 7 metros de largo por 4 de ancho, como los paneles que integran las casetas de obra.

Tolerancias

En comparación con otros métodos de moldeo de plásticos, las tolerancias son bajas debido a la contracción, a la velocidad de enfriamiento y al grosor de la pared del material, que experimenta leves variaciones durante el proceso de conformado.

Materiales relevantes

El polietileno es un material muy frecuente en el moldeo rotativo. También pueden usarse otras resinas, como el acrilonitrilobutadieno-estireno (ABS), el policarbonato, el nailon, el polipropileno y el poliestireno. Asimismo, se pueden introducir fibras de refuerzo para aumentar la robustez del producto final.

Productos habituales

Huevos de chocolate, conos de señalización viaria, sanitarios portátiles, cajas de herramientas, juguetes grandes y muchos otros productos huecos.

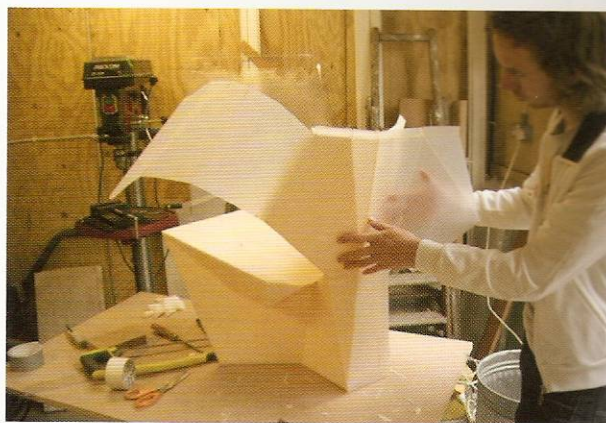
Métodos similares

El vaciado centrífugo (véase pág. 143) es un proceso parecido que sirve para moldear plásticos, pero no está disponible en todas partes y sólo se usa para fabricar piezas pequeñas. Similares son también el moldeo por soplado en todas sus variantes (véanse págs. 102-115) y el moldeo por inmersión (véase pág. 116).

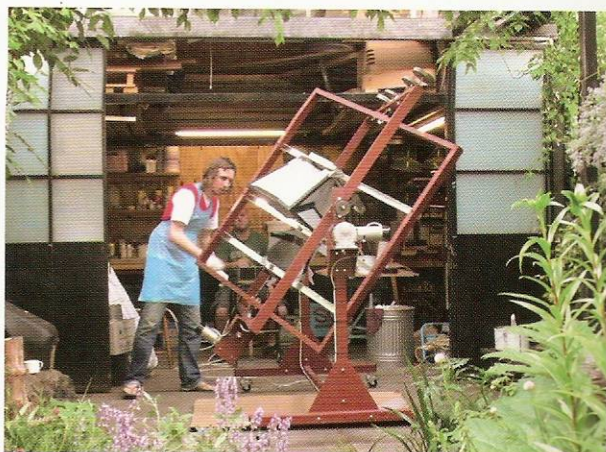
Información complementaria

www.bpf.co.uk/bpfgroups/rotamoulding_groupag.cfm
www.rotomolding.org

plegar. Es justamente en el uso de esta silueta de aluminio, que se monta para levantar una forma hueca tridimensional –la cual, a su vez, servirá de molde– donde reside la verdadera innovación de este proyecto, pues el proceso permite la fabricación de un producto con ángulos muy marcados.



- Resulta ideal para producir formas huecas.
- Se adapta a los volúmenes de producción reducidos.
- Es un proceso sencillo.
- Permite la fabricación rentable de grandes productos.



- No sirve para fabricar productos pequeños y de precisión.

Estas tres imágenes, en las que se refleja el carácter manual, experimental y casi artesano de este proyecto concreto, la silla Pollock, captan a la perfección la esencia del moldeo rotativo.

Vaciado

He aquí un proceso de fabricación que nos podemos encontrar en un curso introductorio de arte y diseño de la universidad, pero también en los talleres que organizan firmas como Wedgewood o Royal Doulton. En el vaciado, se vierten primeramente partículas de material cerámico en agua para formar la barbotina, un líquido de color y consistencia parecidos a los del chocolate. Esta barbotina se vuelca a continuación en un molde de escayola. Como este molde de escayola seca es poroso, absorbe el líquido de las capas más externas de la colada, dejando así

Producto	tetera Wedgewood antes del acabado
----------	---------------------------------------

Materiales	porcelana de hueso
------------	--------------------

Fabricante	Wedgwood
------------	----------

País	Reino Unido
------	-------------

Es frecuente que un artículo nos diga más cosas sobre el proceso de fabricación antes de su acabado que en su presentación final. Esta imagen se tomó mientras el barro estaba todavía húmedo y antes del desbarbado de la parte superior. Todavía se aprecian, todo alrededor de la tetera, las líneas divisorias que revelan el encaje de las dos mitades del molde.



un revestimiento de cerámica dura y de aspecto correoso sobre la superficie interna del molde. Cuando se ha acumulado el suficiente espesor de material, se le da la vuelta al molde para vaciar el líquido fangoso restante. Antes de abrir el molde, se recorta el sobrante

de cerámica alrededor de su apertura para obtener un borde limpio. Se retira entonces la pieza así moldeada y aún «verde» para proceder a su cocción.

Para productos más grandes suele utilizarse el proceso del vaciado a presión (véase pág. 208).

Volúmenes de producción

Versatilidad de los volúmenes de producción: desde la fabricación a pequeña escala de lotes artesanos hasta la producción industrial en fábrica.

Precio unitario frente a inversión de capital

El vaciado es una técnica económica para la producción de pequeñas cantidades, ya que se pueden fabricar moldes baratos en talleres no muy grandes y con precios unitarios bastante bajos. Sin embargo, en la producción de escala industrial los moldes de escayola tienen una vida limitada, siendo necesaria su sustitución cada 100 vaciados aproximadamente.

Velocidad

Podemos resumir el principio del vaciado con la ecuación «tiempo igual a grosor». En vista del número de operaciones que hay que ejecutar y de los tiempos de secado, el vaciado, incluso cuando se hace a escala industrial, sigue teniendo un pie en la tradición artesana e implica una buena dosis de trabajo manual.

Superficie

El vaciado nos procura un método excelente para imprimir diseños en la superficie de los objetos fabricados (relieves florales, por ejemplo). Como pasa con todos los productos de cerámica, también éstos necesitan esmaltado.

Tipos/complejidad de la forma

Las formas pueden ser pequeñas y sencillas o grandes y complejas. Además, puede que algunas piezas lleven rebajes. Este proceso permite fabricar desde artículos para el baño hasta objetos artísticos, pasando por la típica vajilla de mesa.

Tamaño

Los moldes grandes pueden llegar a pesar bastante, por lo que, dada la enorme cantidad de barbotina necesaria para llenarlos, el vaciado no parece muy recomendable para crear piezas grandes. Además, recordemos que hace falta un horno lo suficientemente grande como para cocer el producto final. Las dimensiones medias son las que tienen, por ejemplo, las piezas de vajilla.

Tolerancias

Resulta difícil obtener tolerancias altas porque las piezas merman considerablemente durante la cocción e incluso antes, en el interior del molde, dado que la barbotina pierde agua.

Materiales relevantes

Todo tipo de materiales cerámicos.

Productos habituales

El vaciado se usa para fabricar cualquier tipo de objeto hueco, desde piezas individuales de loza –como teteras, jarrones y figuritas– hasta sanitarios fabricados a escala industrial.

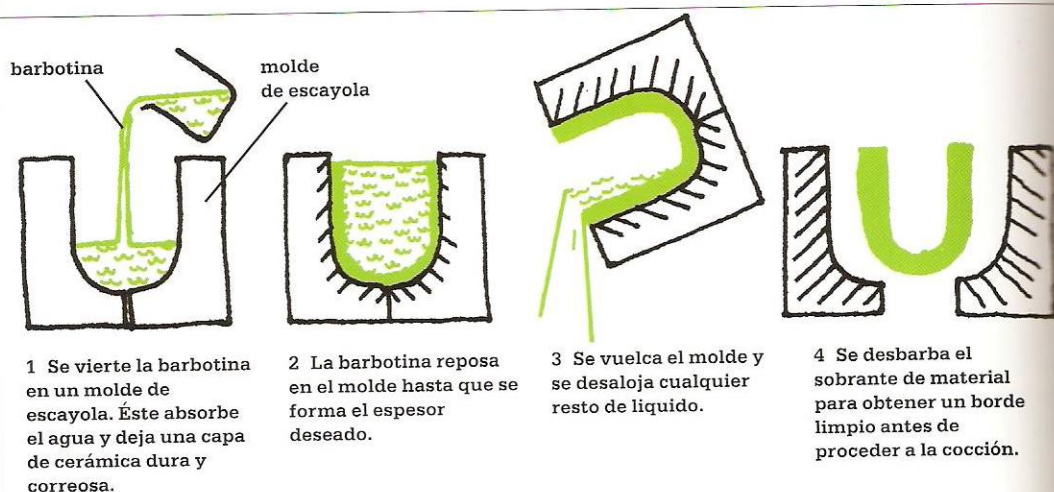
Métodos similares

El vaciado a presión (véase pág. 208) y la colada en banda (un proceso que se usa en la fabricación de condensadores multicapa para la industria electrónica y que consiste en la superposición de delgadas láminas de polímeros cargados de material cerámico y otros materiales).

Información complementaria

www.ceramfed.co.uk

www.cerameunie.net



1 Moldes de escayola vacíos.



2 Moldes rellenos de barbotina.



- Ideal para la fabricación de artículos huecos de loza.
- Se pueden conseguir con facilidad formas complejas.
- Buen aprovechamiento del material.
- Se presta a pequeñas tiradas de fabricación.



- Requiere mucha mano de obra.
- El control de las tolerancias está restringido.
- Ritmo de producción lento.
- La producción a gran escala requiere muchos moldes, que a su vez necesitan espacio para su almacenamiento.

Hidroconformado

de metales TAMBIÉN LLAMADO conformado hidráulico

El hidroconformado es un proceso bastante novedoso para conformar acero y otros metales. Consiste en introducir por la fuerza una solución de agua y aceite en un cilindro (o en otra forma cerrada) metido dentro de un dado. Lo principal de este método consiste en que permite «inflar» tubos de metal y labrar formas elaboradas en chapas metálicas, al presionarlas contra un dado. Una presión hidráulica de hasta 15.000 psi (libras por pulgada cuadrada) —o, lo que es lo mismo, 103,42 megapascuales— expande el material y lo obliga a

acomodarse a la forma del dado, moldeando el producto final.

Tubos y cilindros suelen ser los objetos más comunes del hidroconformado, aunque también se utiliza para paneles a presiones altas con el propósito de producir formas similares a un cojín a partir de dos paneles sellados.

De este proceso se derivan varias ventajas, entre las que cabe destacar la reducción del peso de las piezas y una disminución de los tiempos de producción en comparación con métodos parecidos, como el superformado de aluminio (véase pág. 56) y el inflado de metales (véase pág. 62). Para sacar el máximo provecho al hidroconformado, los diseñadores tienen que ver en él una forma de reducir costes, puesto que sirve para fabricar un producto a partir de un único material, en lugar de implicar la fabricación de una multitud de componentes que luego hay que unir.

barra tipo T perteneciente a un proyecto de un sistema de pasamanos	
Producto	
Diseñadores	Amelie Bunte, Anette Ströh, André Saloga y Robert Franzheld, alumnos de la Universidad Bauhaus de Weimar; diseño de ingeniería de Kristof Zientz y Karsten Naunheim, alumnos de la Escuela Universitaria de Tecnología de Darmstadt
Materiales	acero hidroconformado con revestimiento de pulvimetal; tubos de acero inoxidable
Fabricante	proyecto de carrera
País	Alemania
Fecha	2005

De apariencia engañosamente sencilla, este empalme de acero revestido de pulvimetal blanco procede de un proyecto de carrera para la fabricación de sistemas de pasamanos, e ilustra la capacidad que tiene el hidroconformado de crear una forma sofisticada que va cambiando de diámetro mediante una parábola compleja. La única forma alternativa de fabricar este elemento sería recurrir a las técnicas de conformado convencionales y soldar luego las partes resultantes.





1 Un ejemplo de la maquinaria y de la cavidad del molde en la que se aloja el metal.



2 Objetos semiacabados producidos mediante hidroconformado.

i

Volúmenes de producción

Grandes volúmenes de producción.

Precio unitario frente a inversión de capital

Se requiere una inversión considerable en equipamiento mecánico, aunque la posibilidad de fabricar productos monopieza —en lugar de piezas múltiples que luego se unen— debería servir para rebajar el coste unitario.

Velocidad

Con un dispositivo de fabricación muy automatizado, es posible conseguir ciclos de producción cuyos tiempos oscilan entre 20 y 30 segundos para una pieza pequeña, incluso en un contexto operativo en el que las piezas se posicionan y conectan en el interior del dado.

Superficie

En términos generales, el conformado hidráulico no influye demasiado en las superficies de los materiales, aunque sí deja pequeñas marcas y rayas en los extremos de la pieza de trabajo a consecuencia de las bridas de sellado que allí se aplican. Normalmente, sin embargo, se recortan estas imperfecciones.

Tipos/complejidad de la forma

Esta técnica permite expandir materiales tubulares para que adquieran formas bastante sofisticadas. Un ejemplo son las barras en forma de T, que de otro modo habría que fabricar uniendo múltiples componentes.

Tamaño

Cuanto mayor sea la pieza, más presión requiere el conformado, de donde se deriva a su vez la necesidad de contar con un molde más pesado que pueda contener las poderosas fuerzas que operan en este proceso. Algunas piezas grandes de los automóviles, como el capó, se pueden fabricar mediante hidroconformado, aunque sería difícil manejar piezas de un tamaño muy superior.

Tolerancias

Gracias al dado, el proceso permite controlar la pieza durante el conformado a fin de impedir arrugas o desgarros.

Materiales relevantes

Cualquier metal con una elasticidad razonable que pueda soportar las grandes tensiones que operan en este procedimiento: por ejemplo, el acero de alta resistencia y el aluminio termotratable.

Productos habituales

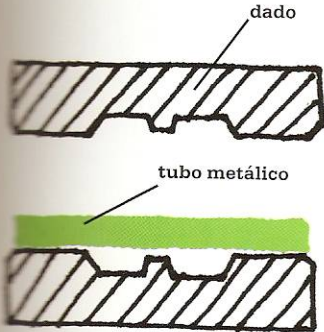
Cuadros de bicicletas, fuelles, barras tipo T y distintas piezas para automóvil (como la cubierta inferior del chasis, los paneles laterales para furgoneta o los paneles del techo).

Métodos similares

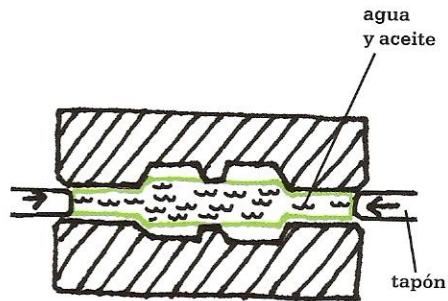
Inflado de metales (véase pág. 62) y superformado de aluminio (véase pág. 56).

Información complementaria

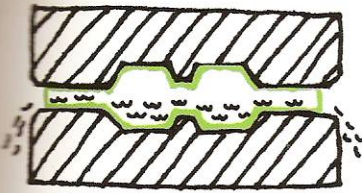
www.hydroforming.net
<http://salzgitter.westsachsen.de>



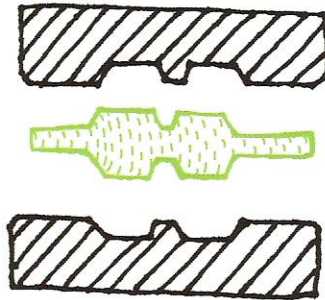
1 En el conformado de tubos, el tubo metálico se inserta en un dado de dos partes y se sella en ambos extremos, dejando sólo una abertura por la que se introduce el líquido.



2 Se usa una solución de agua y aceite para llenar el tubo y se aplica una presión de 15.000 psi (equivalente a 103,4 megapascasles) mediante la introducción de tapones a ambos extremos del tubo, lo que obliga al agua a «rellenar» el tubo hasta que éste se amolda a la cavidad del dado.



3 Se vacía la solución con la que se había rellenado el tubo.



4 Se retira la pieza hueca resultante.



- Capaz de producir objetos únicos de gran robustez y complejidad debido a la eliminación de empalmes y soldaduras.
- Capaz de producir piezas más ligeras al tiempo que más resistentes.
- Capaz de simplificar en una sola pieza lo que de otro modo sería una amalgama de componentes unidos entre sí.



- Requiere una inversión fuerte en maquinaria.
- No son muchas las empresas que ofrezcan este proceso industrial.

Extrusión inversa por impacto TAMBIÉN LLAMADA extrusión indirecta

La extrusión por impacto es un proceso en frío que sirve para conformar metales y que conjuga la forja (véase pág. 169) con la extrusión (véase pág. 78). Por resumirlo brevemente, la extrusión inversa por impacto es un método de conformado de piezas metálicas huecas que consiste en golpear un tocho (o disco) de metal, previamente alojado en un dado cilíndrico o cuadrado, con tanta fuerza que el metal es empujado en dirección ascendente al espacio intermedio entre el «martillo» (o pisón) y el dado. El hueco que queda entre el pisón y el interior del dado determina el grosor de la pared del producto final.

Existen dos tipos de extrusión por impacto: hacia delante y hacia atrás. La extrusión hacia atrás (indirecta o inversa) se usa para fabricar formas huecas, ya que el pisón es sólido y empuja el material, forzándolo a fluir alrededor del pisón y penetrar en el espacio que media entre el propio material y el dado.

El otro tipo de extrusión por impacto –la extrusión hacia delante (o directa)– sólo sirve para fabricar secciones sólidas. En este caso, el espacio entre el pisón y el dado es demasiado pequeño como para permitir que el metal se enrolle alrededor del pisón. En lugar de ello, se impacta el

Producto	cantimplora de la marca Sigg
Materiales	aluminio
Fabricante	Sigg
País	Suiza
Fecha	esta gama salió al mercado en 1998

Esta silueta de la famosa cantimplora de aluminio de la marca Sigg nos muestra las finas paredes y las formas típicas que caracterizan la extrusión por impacto.



metal en sentido descendente contra el interior de un dado, creándose así una forma sólida sin más complicaciones. En cualquier caso, ambos procesos pueden conjugarse en una única operación, donde la acción repetida del pistón empuja el material tanto en sentido ascendente (para formar una parte

superior hueca) como descendente (para crear una base sólida y conformada).

En aquellos diseños que requieran ahusamiento externo, puede ser necesario el postconformado después de la extrusión. Además, las secciones en rosca –como el cuello de una botella– también se añaden tras el conformado.



1 El tocho de aluminio que se coloca en el dado.

2 El cilindro resultante de la acción del pistón por extrusión inversa.

3 Se añade un ahusamiento de la pieza mediante un proceso secundario.

4 Una vez añadida la sección en rosca, ya reconocemos la típica cantimplora Sigg.



1 Se coloca en el dado un tocho de aluminio.



2 Se golpea el dado y el impacto fuerza el material en dirección ascendente hacia el espacio que hay entre el «martillo» y el cilindro.



Volúmenes de producción

La extrusión por impacto es un método para la producción a gran escala. Dependiendo del tamaño del producto, las cantidades mínimas van de las 3.000 unidades en adelante.

Precio unitario frente a inversión de capital

Aunque pueda sorprender, el maquinado no es tan caro como cabría esperar en un proceso de fabricación a gran escala, aunque la velocidad a la que se fabrica requiere pedidos mínimos de un volumen considerable. Los costes unitarios son muy bajos.

Velocidad

Las famosas cantimploras de un litro de la marca Sigg (como la que aparece en la ilustración) se fabrican a un ritmo de 28 unidades por minuto.

Superficie

El acabado de la superficie presenta una calidad razonablemente alta.

Tipos/complejidad de la forma

Mediante la extrusión por impacto se pueden fabricar envases de paredes delgadas o gruesas, de forma cilíndrica o cuadrada y con cierre de uno de los extremos (el proceso «hacia delante» produce secciones sólidas a partir de barras también sólidas con tamaños y formas distintos). Ambos procedimientos son óptimos para la fabricación de formas simétricas. Existen asimismo ciertas directrices con respecto a

la proporción ideal que han de guardar la anchura y longitud de las piezas, pero sobre este punto es necesario consultar al fabricante, pues dicha proporción dependerá del material utilizado.

Tamaño

Sirve para fabricar piezas cuyo peso oscila aproximadamente entre unos pocos gramos y un kilo.

Tolerancias

La extrusión inversa permite conseguir tolerancias altas (evidentemente, la extrusión directa por impacto presenta mayores tolerancias, ya que el producto final es sólido).

Materiales relevantes

Aluminio, magnesio, zinc, plomo, cobre y aceros de baja aleación.

Productos habituales

La extrusión inversa es un método muy usado en la fabricación de latas de bebida y comida y otros envases parecidos. A veces se combinan la extrusión directa y la inversa para fabricar productos tales como los cabezales de una llave de trinquete.

Métodos similares

Forja (véase pág. 169) y extrusión (véase pág. 78).

Información complementaria

www.mpma.org.uk

www.sigg.ch

www.aluminium.org



- Produce de un modo rentable carcasas huecas con variedad de formas cuadradas y cilíndricas.
- Elimina el problema de los empalmes al crear productos cuya pared es uniforme y sin fisuras.
- La maquinaria es barata si se la compara con la que requieren otros procesos de fabricación a gran escala.



- La longitud del producto final está limitada por la propia longitud del pisón que golpea el tocho.
- Sólo sirve para fabricar productos cuya longitud es más de cuatro veces la del diámetro.
- Hace falta postconformado si se quieren añadir roscas o ahusamientos.
- Es un proceso sometido a las limitaciones del dado.

Moldeo de pasta de papel

incluye el moldeo en basto
y el termoformado

En la actualidad, el papel es uno de los materiales que se recoge y recicla con mayor eficiencia. Buena parte de ese papel recogido se transformará luego en pasta para fabricar nuevos productos, la mayoría hojas o embalajes destinados a diversos sectores industriales. Sin embargo, lo que aquí nos interesa destacar es el moldeo de esta pasta de papel mediante una tecnología muy original destinada a la producción en masa.

La fabricación de productos de papel moldeado puede seguir dos métodos: en primer lugar, el proceso convencional en basto (o industrial) de la pasta de papel, y en segundo lugar, un sistema que recibe el nombre de termoformado. Ambos procedimientos comienzan con

Producto	recipiente de orina desechable
Materiales	pasta de papel
Fabricante	Vernacare

La textura de malla, que apenas se aprecia en esta imagen, da fe del proceso de escurrido del agua a través de una malla de alambre con el propósito de compactar la pasta de papel hasta conseguir el producto final. También se perciben las líneas de división del molde. Finalmente, el texto grabado sobre la superficie del artículo ilustra el hecho de que este proceso puede conseguir calidades de gofrado más que dignas.





Volúmenes de producción

Debido al elevado coste de mecanización y a la velocidad a la se pueden fabricar los artículos de pasta de papel, tanto el moldeo industrial como el termoformado de este material requieren altos volúmenes de producción. Por lo general, los ciclos de producción mínimos son de dos días (unas 50.000 piezas).

Precio unitario frente a inversión de capital

Los costes del mecanización y los tiempos de montaje del dispositivo de producción son considerables. De todos modos, la demanda de maquinaria difiere según el método que usemos: el termoformado cuesta aproximadamente el doble que el método en basto.

Velocidad

La velocidad la determinan el espesor del material y la cantidad de papel que hay que secar. A modo de orientación diremos que moldear insertos en cuatro cajas de teléfono móvil requiere aproximadamente un minuto. La operación se basa en un sistema de impresión múltiple, de manera que las cuatro piezas se moldean simultáneamente. Estos cuatro moldes distintos pueden producir 960 unidades a la hora.

Superficie

No hay más que pensar en un cartón de huevos para hacerse una idea de la textura –suave, cálida, abizcochada– de la superficie de estos productos. El proceso de moldeo en basto produce una cara entosco, que recoge la impronta de la malla de alambre, y otra cara lisa creada por la cara del molde de aluminio pulido o plástico.

Tipos/complejidad de la forma

Es posible moldear motivos bastante complejos, pero hay que dejar margen para los ángulos de inclinación lateral, que son bastante grandes. Nada de complejos detalles en tres dimensiones.

Tamaño

En la producción estándar se llega a superficies de hasta 1.500 por 400 milímetros, aunque algunos fabricantes son capaces de manejar tamaños de hasta 2,4 metros de largo.

Tolerancias

Las tolerancias varían en función del proceso concreto que se aplique. Con el método del termoformado se pueden obtener tolerancias de entre $\pm 0,5$ -1 milímetros. Con el proceso de la pasta de papel en basto, las tolerancias serán aproximadamente de ± 2 -3 milímetros.

Materiales relevantes

Las materias primas proceden de dos fuentes principales: papel prensa y cartón. La elección del material depende del producto final y de la resistencia requerida. Para la fabricación de embalajes robustos que han de someterse a ensayos de caída (como, por ejemplo, los que se usan para teléfonos móviles, PDAs y cámaras), las fibras largas que se encuentran en el cartón hacen de éste la mejor alternativa.

Productos habituales

La pasta de papel cruda que se utiliza convencionalmente en el moldeo industrial sirve para fabricar cajas para botellas de vino y embalajes industriales. El proceso por termoformado se usa para fabricar productos más sofisticados, como los embalajes de los teléfonos móviles.

Métodos similares

No existen.

Información complementaria

www.huhtamaki.com
www.mouldedpaper.com
www.paperpulp solutions.co.uk
www.vaccari.co.uk
www.vernacare.com

la inmersión del papel en una cubeta gigante llena de agua. Las proporciones de papel y agua dependen del nivel de consistencia requerido para obtener el producto final (habitualmente, la proporción de papel no supera el 1 por ciento). La mezcla resultante, de color gris, se bate con una cuchilla para producir un compuesto moldeable o «papilla».

A diferencia de casi todos los demás métodos de moldeo de materiales, en los que el molde permanece estático, los moldes hembra de plástico o aluminio usados en el moldeo de pasta de papel (y que están recubiertos de orificios de drenaje) se sumergen en cubetas llenas de pasta de papel líquida. Después, los moldes se cubren con mallas o gasas para permitir el drenaje del agua –de ahí la textura como de malla que se

aprecia, por ejemplo, en la superficie de un cartón de huevos–. A continuación, se usa un molde macho para comprimir la pulpa y se aspira el agua del molde, succionando las fibras con fuerza contra el molde. En ese punto se seca el conjunto, formándose de esta manera el producto final.

Aparte de usar calor, como su propio nombre indica, el termoformado implica la utilización de prensas y moldes de transferencia. Tras el primer moldeo, el producto es recogido por un dispositivo de transferencia –que en realidad es el propio negativo de su forma– y transportado a una prensa caliente que le confiere su forma definitiva. Esta variante presenta varias ventajas (entre las cuales destaca una mayor calidad en el acabado de la superficie), pero también es más costosa de poner en marcha.



- **Estos métodos usan materiales reciclados y reciclables.**
- **Sirven para fabricar productos muy ligeros.**



- **Los volúmenes de producción tienen que ser altos.**
- **Son procesos que sólo se aplican a una gama limitada de materiales.**

Moldeo por contacto

incluye el moldeo manual
y por aspersión y el conformado
por bolsa de vacío y por bolsa de presión

El moldeo por contacto es un método de conformado de materiales compuestos (composites) que consiste en coger fibras de refuerzo plástico, colocarlas por capas y, a continuación, aplicar por encima una resina líquida para crear un caparazón duro. En su variante sencilla –el moldeo manual–, los refuerzos se colocan encima de un molde antes de aplicar la resina líquida con una brocha o pulverizador. Quien haya reparado alguna vez un golpe o agujero en un coche o en un barco habrá empleado este proceso, aunque simplificado. En la industria se usa para moldear materiales compuestos a gran escala, y es uno de los procedimientos más comunes a la hora de combinar diversos tipos de fibra de refuerzo con resinas termofraguadas.

Los moldes de formas abiertas usados en el moldeo manual pueden estar fabricados en cualquier material, aunque suelen ser de madera, plástico o cemento. Las fibras de refuerzo suelen ser de vidrio o carbono, pero también se pueden usar otros materiales. Lo siguiente es aplicar

la resina mediante brocha o pulverizador y usar a continuación unos rodillos para comprimir la mezcla y distribuirla de forma homogénea en el interior del molde. El método por aspersión o pulverización se utiliza cuando hay que trabajar con superficies más grandes. En ese caso se usan fibras cortadas en secciones de poca longitud, que se incorporan a la resina antes del pulverizado. En ambos casos, el grosor de la pieza lo determina el número de capas superpuestas.

El conformado por bolsa de vacío y el conformado por bolsa de presión, variantes de los métodos de moldeo manual y por aspersión, sirven también para dar forma a materiales compuestos, aunque su uso confiere al moldeado mayor finura en los detalles y una resistencia superior. Ambas variantes siguen un procedimiento parecido: en el método por bolsa de presión, y una vez dispuestos los materiales encima del molde, se coloca sobre ellos una bolsa flexible de caucho que se somete a presión mediante un dispositivo de



- El uso de fibras de refuerzo genera una alta resistencia en los materiales.
- Resulta fácil incorporar aditivos que mejoran el rendimiento, como por ejemplo retardadores de la llama.
- Gran versatilidad de formas y tamaños.
- Permite la fabricación de secciones gruesas.



- Demanda bastante mano de obra.
- Exige buena ventilación a causa de las resinas.
- Otros métodos de conformado de materiales compuestos (como por ejemplo el bobinado de filamentos, véase pág. 140) ofrecen una mayor densidad y una mejor relación resistencia-peso.

sujeción. Esta operación compacta los materiales, al comprimir conjuntamente resina y refuerzo. Mediante el método por bolsa de vacío, se procede al curado de la pieza en el interior de una bolsa de la que se ha aspirado el aire, lo que, una vez más, compacta y unifica los materiales.

El conformado por bolsa de vacío permite obtener resultados parecidos a los del moldeo en autoclave (véase

pág. 138), eliminando no obstante la necesidad de una cámara de presión. Si comparan con los métodos manual y por aspersión, los procesos por bolsa de vacío y bolsa de presión producen un mayor contenido en fibra y una densidad superior. Ello se debe precisamente al uso del vacío o la presión, lo que su vez reduce al mínimo la emisión de vapores potencialmente tóxicos.

Volúmenes de producción

Debido a la mano de obra requerida, el proceso siempre es lento. En todo caso, y por su propia naturaleza, el método por aspersión es más rápido que el manual.

Precio unitario frente a inversión de capital

La maquinaria puede ser barata, pero el tiempo necesario para conformar las piezas hace que el proceso sea caro para la producción en masa de grandes volúmenes.

Velocidad

Depende del tipo de técnica de conformado manual que se utilice y del tamaño del producto. El moldeo por aspersión es más rápido, pero como se suele aplicar a superficies más grandes, el ritmo de fabricación de piezas individuales no tiene necesariamente que ser superior.

Superficie

En el reverso de las piezas moldeadas con este método encontramos la textura fibrosa típica del refuerzo. Para dar más realce al acabado de las superficies, se puede aplicar al molde un revestimiento de gel. También mejora el acabado de la superficie la adición de otras capas de material termoformado. La naturaleza de los métodos por bolsa de vacío y bolsa de presión permite conseguir mucho más detalle en la superficie del producto.

Tipos/complejidad de la forma

Estos métodos sólo producen formas abiertas con secciones transversales delgadas. Se pueden moldear únicamente rebajes leves, dependiendo de hasta qué punto se pueda doblar el producto al retirarlo del molde.

Tamaño

No hay límite de tamaño. El moldeo manual permite un grosor de la pared mucho mayor que el moldeo por aspersión, que no puede

pasar de unos 15 milímetros. El tamaño de los productos fabricados con bolsa sólo viene limitada por el tamaño de este dispositivo.

Tolerancias

Es inevitable que el material merme en el curso del proceso, por lo que resulta difícil controlar las tolerancias.

Materiales relevantes

Entre los materiales de refuerzo están las modernas fibras como el carbono, la aramida y el vidrio, pero también puede emplearse materiales naturales como el yute o el algodón. La resina termofraguada de uso más común es el poliéster, pero hay otras, como las epóxicas, las fenólicas y la silicona. También se usan materiales termoplásticos, aunque son menos rentables.

Productos habituales

Todo tipo de artículos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), como cascos de embarcaciones, paneles de automóviles, muebles, bañeras, platos de ducha y hasta los asientos de cubierta en transbordadores.

Métodos similares

El moldeo por transferencia (véase pág. 158) puede conseguir una resistencia parecida. El moldeo por inyección con gas (véase pág. 183) y por inyección-reacción (véase pág. 181) se pueden usar para producir piezas grandes, pero con menor resistencia en el producto. Otras alternativas son la infusión al vacío (VIP) (véase pág. 136), el bobinado de filamentos (véase pág. 140) y el moldeo en autoclave (véase pág. 138).

Información complementaria

www.compositetek.com

www.netcomposites.com

www.compositesone.com

www.composites-by-design.com

www.fiberset.com

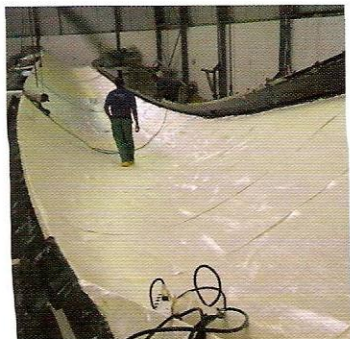
Proceso de infusión al vacío (VIP)

El llamado proceso de infusión al vacío (VIP) es un método de conformado de materiales compuestos (composites) que consigue densidad y resistencia en el producto final mediante la aspiración conjunta de la resina y las fibras de refuerzo a fin de conseguir una masa sólida y compacta. Se trata, en esencia, de una variante avanzada del moldeo por contacto (véase pág. 134) y, si se compara este método con otras técnicas parecidas de conformado de materiales compuestos, resulta una técnica limpia y muy eficaz que permite combinar los dos ingredientes principales en una sola operación.

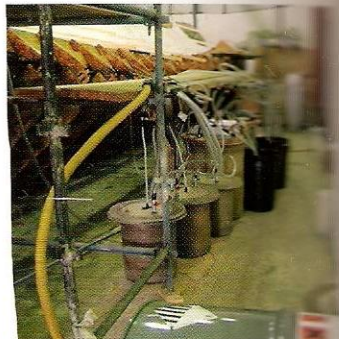
En los tradicionales métodos manuales de moldeo por contacto, las fibras de refuerzo se disponen sobre un molde antes de extender o pulverizar la resina. En el proceso VIP, se apilan sobre el molde las piezas del material en seco. Seguidamente, se cubren con una lámina flexible y se forma un sello entre dicha lámina y el molde. Mediante un bombeo se aspira entonces el aire del interior, formándose así un vacío. Después se impregnan las fibras con la resina de polímero líquido. Por efecto del vacío, la resina impregna el material seco por entero, lo que confiere al producto final densidad y resistencia.



1 El casco de una embarcación se recubre con una lámina de plástico flexible antes de proceder al sellado. Más tarde se hará el vacío.



2 Se comprueba la lámina para vigilar que el sellado es perfecto.



3 Las bombas de vacío aspiran el aire entre la lámina y el casco.



Volúmenes de producción

Se trata de un método de producción lento. Hay que poder permitirse el lujo de un tiempo de montaje bastante prolongado previo a la construcción de la pieza.

Precio unitario frente a inversión de capital

La técnica VIP puede usarse en un pequeño taller y con un equipamiento básico que venden numerosos proveedores. No obstante, es un proceso que requiere muchas pruebas y el índice de fracasos puede ser alto.

Velocidad

Proceso lento.

Superficie

Se pueden aplicar revestimientos de gel para que la superficie de las piezas tenga un acabado de calidad.

Tipos/complejidad de la forma

Una aplicación típica de este método la encontramos en la fabricación de cascos de embarcación, lo que nos da una idea de su complejidad y escala.

Tamaño

Es un proceso orientado a la fabricación de productos grandes. Resulta difícil fabricar con esta técnica objetos por debajo de los 300 por 300 milímetros, ya que es preciso plegar la fibra por encima del molde o en su interior.

Tolerancias

No es un proceso que se caracterice por las tolerancias altas.

Materiales relevantes

Como en cualquier método para el conformado de compuestos plásticos, las resinas que más se utilizan son el poliéster, el ester de vinilo y la resina epoxi, materiales que se combinan con refuerzos de fibra de vidrio, aramida y grafito.

Productos habituales

Hélices, piezas de barcos y otro tipo de equipamientos: por ejemplo, las camillas utilizadas en operaciones de salvamento, cuyo armazón es de aluminio recubierto por un compuesto moldeado mediante infusión al vacío.

Métodos similares

Moldeo por contacto (véase pág. 134), moldeo por transferencia (véase pág. 158) y moldeo en autoclave (véase pág. 138).

Información complementaria

www.resininfusion.com

www.reichhold.com

www.epoxi.com/application/infusion.asp



– Buen aprovechamiento de la resina debido a una proporción eficiente entre fibra y resina.

– Limpio.

– Elimina las bolsas de aire.

– La relación resistencia-peso es más alta que en el moldeo por contacto (véase pág. 134).

– El montaje de sistema de producción es complicado.

– El número de pruebas fallidas es muy alto.

Moldeo en autoclave

Los modernos materiales compuestos (composites) poseen aplicaciones en diversas actividades industriales, desde la fabricación de artículos deportivos de primerísimas marcas hasta la producción de componentes para ingeniería. Estos materiales ofrecen una gran resistencia, mientras que su conformado los hace muy ligeros. No obstante, la combinación de los dos ingredientes tan diferenciados (fibras diversas y resinas poliméricas) que integran los compuestos supone un reto para los fabricantes, que se ven obligados a buscar fórmulas nuevas para integrar estas materias primas de un modo rentable y adecuado a las demandas de la producción industrial.

El calor y la presión son elementos muy normales en el mundo de la fabricación: mediante el moldeo en autoclave se utilizan a la vez ambos factores para compactar y unificar las materias primas y obtener así la mayor resistencia posible.

El moldeo en autoclave constituye una variante modificada del conformado por bolsa de presión (véase moldeo por contacto, pág. 134): el compuesto se forma en un aparato que, en esencia, es como una olla exprés. La presión que

se aplica durante el proceso permite conformar productos fabricados a base de compuestos avanzados y dotados de una densidad especialmente alta. El procedimiento se inicia con la colocación de fibras de refuerzo y resina en el molde, una operación que se puede realizar mediante distintas técnicas, ya sean manuales o por aspersión (véase moldeo por contacto, pág. 134). Seguidamente, se coloca sobre la superficie una bolsa flexible –un poco a modo de edredón– y el conjunto se mete en un autoclave (una cámara sellada) donde se le aplican calor y una presión de entre 50 y 200 psi (0,34–1,3 megapascuales), lo que hace que la bolsa se comprima en el interior, o alrededor, del molde y que resina y fibras se compacten entre sí. De este modo, además, se expulsa cualquier bolsa de aire que pudiera quedar en el conjunto y se consigue un tiempo de curado relativamente corto, por comparación con el moldeo manual o con la técnica del pulverizado. Precisamente es esta compactación de los distintos materiales sometidos a presión, junto con la aplicación del calor, lo que confiere al producto final una densidad muy alta.



Volúmenes de producción

Desde producción por lotes hasta volúmenes de fabricación intermedios.

Precio unitario frente a inversión de capital

Es posible fabricar los moldes a partir de materiales diversos –entre ellos barro de modelar–, lo que permite un equipamiento mecánico asequible para la fabricación de lotes pequeños.

Velocidad

Aunque se puede automatizar la fase en la que se combinan la resina y el refuerzo, el proceso requiere mano de obra y el material ha de pasar por una serie de etapas y permanecer, además, en el autoclave durante un tiempo que puede alcanzar las 15 horas.

Superficie

A veces se aplican revestimientos de gel sobre la superficie del molde para proporcionar un acabado de mayor calidad. Sin este gel, la superficie adquiriría una textura fibrosa.

Tipos/complejidad de la forma

Aunque el proceso es versátil en la medida en que se adapta a moldes con formas diferentes, sigue estando restringido a perfiles bastante simples.

Tamaño

El tamaño de las piezas está limitado únicamente por las dimensiones del autoclave.

Tolerancias

El material encoge durante el proceso, de modo que es difícil controlar las tolerancias.

Materiales relevantes

Método adecuado para el tratamiento de diversas fibras avanzadas, como la fibra de carbono y los polímeros termofraguados.

Productos habituales

Técnica muy frecuente en la industria aeroespacial para fabricar piezas de aviones y cohetes y ojivas de misiles con buena relación resistencia-peso.

Métodos similares

Todas las variantes del moldeo por contacto (véase pág. 134), la infusión al vacío (VIP) (véase pág. 136) y el bobinado de filamentos (véase pág. 140).

Información complementaria

www.netcomposites.com



- En comparación con los métodos de moldeo que no usan calor ni presión, éste obtiene mayores densidades, curados más rápidos y productos sin rechupados ni huecos.
- Permite añadir color en la operación de moldeo.



- Sólo sirve para fabricar piezas huecas con paredes gruesas y densas.

Bobinado de filamentos

Imaginemos que impregnamos el hilo de un carrete con resina y que, a continuación, extraemos dicha bobina de hilo del propio carrete para formar una pieza cilíndrica de plástico rígido: ése es el principio del bobinado o devanado de filamentos.

En este proceso se utiliza una fibra de refuerzo combinada con una resina polimérica para conformar materiales compuestos (composites) huecos y de gran resistencia: se toma un flujo continuo de cinta o hebra (o sea, fibra) y se arrastra por un baño de resina

polimérica. Se devana entonces la fibra, que habrá adquirido una textura pegajosa, sobre un mandril preformado, en un proceso que puede durar hasta que se haya alcanzado el grosor de material deseado. La forma del mandril determina las dimensiones internas del producto acabado, y si éste se va a utilizar en condiciones de presión, se puede dejar el mandril en el interior del bobinado para incrementar la resistencia de la pieza.

Existen varias formas de bobinado de filamentos, que únicamente difieren en la configuración del devanado. Así, hablamos de bobinado circunferencial si los filamentos se devanan en paralelo, como en un carrete de hilo; de bobinado helicoidal si los filamentos se devanan formando un ángulo con el carrete (lo que confiere a la superficie un aspecto entretejido que se reconoce al instante); y de bobinado polar si los filamentos se tienden en sentido casi horizontal con respecto al eje del carrete.



Producto	silla de carbono hilado
Diseñador	Mathias Bengtsson
Materiales	fibra de carbono y resina polimérica
País	Reino Unido
Fecha	2003

Esta silla ha sido fabricada mediante la técnica del bobinado helicoidal, aunque se ha buscado un efecto más ligero y menos compacto de lo que suele ser habitual en objetos producidos con esta técnica. La estructura «hilada» y enormemente decorativa de esta pieza demuestra a las claras que el bobinado de filamentos –un proceso que solíamos asociar con el uso de materiales compuestos propios de la ingeniería– tiene también aplicaciones en el mundo del diseño.



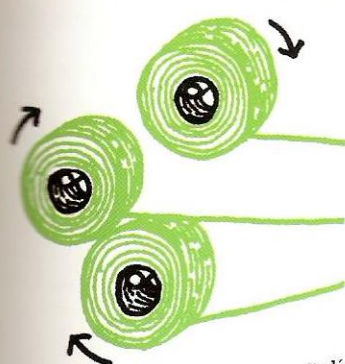
1 En la imagen vemos tres tubos de material compuesto sometidos a un proceso de conformado en una bobinadora de filamentos de tres husos.



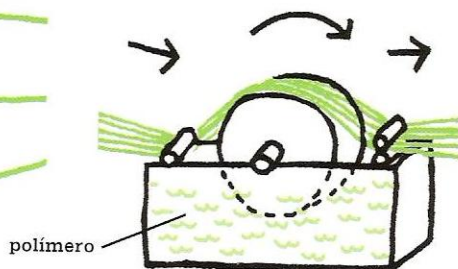
2 El brazo de control, de color amarillo, va cargando las fibras impregnadas de resina sobre el mandril tubular (el baño de resina está fuera de la fotografía).



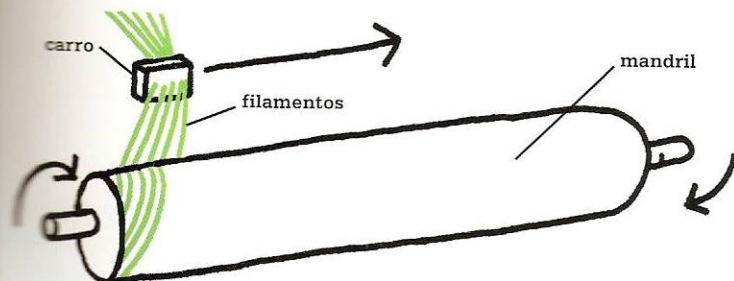
3 Se aprecia con claridad el patrón de devanado helicoidal de las fibras.



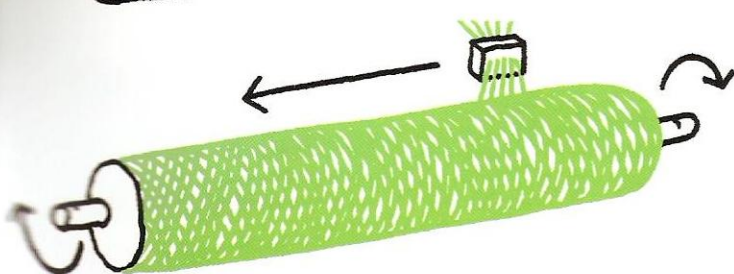
1 Se desovillan varias bobinas de fibra al mismo tiempo.



2 Las fibras se arrastran por un baño de polímero dentro de un tambor. De esta manera se van revistiendo de resina.



3 Las fibras impregnadas o filamentos se bobinan en ángulo (en este caso, un bobinado helicoidal) alrededor del mandril preformado, por medio de un carro que se desplaza a lo largo de la pieza.



4 La resina actúa como un pegamento y aglutina los filamentos. Una vez que la resina está curada, se puede retirar la pieza.



Volúmenes de producción

Se adapta por igual a la producción de encargo y a la fabricación de grandes volúmenes. Para que la producción en masa resulte rentable el volumen mínimo ha de ser de unas 5.000 unidades, pudiéndose producir hasta cientos de miles.

Precio unitario frente a inversión de capital

Se puede usar herramienta de espuma para producciones pequeñas o piezas de encargo, y también se pueden aprovechar existencias disponibles de barra de aluminio, con lo que los costes se recortan.

Velocidad

La velocidad depende de la forma y del grosor de pared deseados en el producto final. De todos modos, si se utiliza un sistema prepreg –en el que las fibras ya tienen un revestimiento previo de resina– se elimina la necesidad de la operación de bañado. En la velocidad influye también el número de filamentos de fibra utilizados, en el sentido de que si hay múltiples hebras resulta más rápido cubrir el mandril.

Superficie

La superficie interna depende del acabado del mandril, mientras que la superficie externa puede rematarse de formas diversas, mecanizado incluido.

Tipos/complejidad de la forma

Este método produce objetos huecos muy resistentes, sea delgada o gruesa su pared. También sirve para fabricar formas asimétricas.

Tamaño

Es posible construir máquinas que bobinen filamentos a gran escala enorme. En los años sesenta del siglo pasado se fabricó una

carcasa de motor íntegramente de plástico para un cohete de la NASA que medía 396 metros de largo y 53 metros de diámetro.

Tolerancias

La tolerancia está controlada por el diámetro interno, que a su vez viene determinado por el tamaño del mandril.

Materiales relevantes

El bobinado de filamentos se suele utilizar para reforzar plástico termofraguante con fibra de vidrio o carbono.

Productos habituales

Este proceso se suele utilizar para fabricar receptáculos de presión estática, como componentes aeronáuticos, depósitos o el habitáculo del motor de un cohete espacial. A causa de la buena relación resistencia- peso de estos productos, se utilizan también como materiales de camuflaje en sustitución del metal, para equipamiento militares. También se emplea el bobinado de filamentos por sus propiedades decorativas: así por ejemplo, en estilográficas «de diseño» fabricadas en materiales compuestos o en la propia seda que aparece en la fotografía.

Métodos similares

Pultrusión (véase pág. 81) y moldeo manual o por aspersión (véase el moldeo por contacto, pág. 134).

Información complementaria

www.ctg ltd.co.uk

www.vetrotexeuropa.com

www.composites-proc-assoc.co.uk

www.acmanet.org



– Los componentes fabricados por medio de esta técnica tienen una excelente relación resistencia-peso.



– Los productos del bobinado de filamentos presentarán siempre una superficie entreverada, a menos que se les haya sometido a un postacabado.

Vaciado centrífugo

incluye el vaciado centrífugo propiamente dicho y el semicentrífugo, así como la centrifugación

El vaciado centrífugo es un proceso basado en un uso concreto de la gravedad. La misma fuerza que opera cuando se centrifugan las hojas de lechuga en el escurridor de cocina o cuando la gente da vueltas en un tiovivo de feria es la que se emplea para lanzar, en sentido horizontal, un material líquido a alta temperatura contra el interior de un molde. En el mundo de la fabricación industrial, el vaciado centrífugo se utiliza sobre todo para hacer cilindros metálicos de gran tamaño, cuya superficie ha de poseer además una serie de propiedades especiales.

El vaciado centrífugo de metales presenta tres variantes fundamentales: la fundición centrífuga propiamente dicha, el vaciado semicentrífugo y la centrifugación. Como cabe suponer, todos estos procesos, aunque con matices, hacen uso de una fuerza centrífuga para arrojar metal fundido contra la pared interna de un molde, a fin de producir diversas formas.

El vaciado centrífugo propiamente dicho, utilizado en la fabricación de conducciones y tuberías, implica el vertido del metal fundido en un molde giratorio de forma cilíndrica. Este molde define la superficie externa del producto final, mientras que el espesor de la pared del tubo o cañería que constituye el producto terminal viene determinado por la cantidad de material vertido en el molde. Este tipo de colada resuelve uno de los problemas que se

asocian tradicionalmente a los metales, ya que la superficie externa del producto tiene un grano tan fino que resiste a la corrosión atmosférica (un problema muy común en las cañerías), mientras que el diámetro interno es más tosco y presenta más impurezas.

En el vaciado semicentrífugo se emplean moldes permanentes o desechables para fabricar formas simétricas, como ruedas o boquillas. Precisa de un huso vertical, a modo de peonza, en torno al cual se sostiene el molde. La velocidad de rotación es menor que en el vaciado centrífugo propiamente dicho, y se pueden «acumular» piezas: en otras palabras, esta variante permite fabricar más de una pieza de cada vez, ya que es posible fijar al huso giratorio múltiples moldes. Por otra parte, como el material que está más cerca del centro (o sea, del huso) rota a una velocidad menor que el material situado más excéntricamente, pueden formarse en el producto pequeñas bolsas de aire.

La centrifugación se parece al vaciado semicentrífugo en la medida en que la rotación se da en torno a un huso vertical, pero esta variante se emplea más bien para fabricar productos múltiples de pequeño tamaño. La rotación, en este caso, obliga al material a alojarse en diversas cavidades del molde (situadas a muy poca distancia del huso giratorio) con el fin de producir detalles finos.



Volúmenes de producción

La producción puede requerir desde el dispositivo relativamente sencillo de un taller de joyería hasta un sistema de fabricación industrial de gran escala. Se trata de procesos que se adecuan mejor a la fabricación de lotes que a la producción en masa.

Precio unitario frente a inversión de capital

Según el tipo de producción, los moldes pueden ser de distintos materiales. Los de grafito, de bajo coste, pueden usarse en producciones pequeñas (de unas 60 piezas máximo), mientras que los moldes permanentes de acero, lógicamente más caros, se emplean para fabricar cantidades mayores —de varios cientos—.

Velocidad

Son procesos lentos, aunque la velocidad varía en función del material utilizado y del tamaño, forma y grosor de pared que se deseen en la pieza final.

Superficie

El vaciado centrífugo propiamente dicho produce superficies externas de grano fino. Debido a que la velocidad de rotación del vaciado semicentrífugo es más lenta, las fuerzas en el centro de la colada son pequeñas: de ahí que aparezcan huecos y porosidades que luego habrá que eliminar mecánicamente tras el conformado. La centrifugación, por su parte, permite producir detalles finos.

Tipos/complejidad de la forma

El vaciado centrífugo propiamente dicho sólo sirve para producir formas tubulares. La variante semicentrífuga de este proceso sólo produce piezas axilimétricas (es decir, simétricas en torno al huso vertical). La centrifugación, más versátil, sirve para crear formas más complejas.

Tamaño

El vaciado centrífugo propiamente dicho se puede usar para conformar tubos enormes de hasta 3 metros de diámetro y 15 de largo. El grosor de la pared oscila entre los 3 y los 125 milímetros. El vaciado semicentrífugo y la centrifugación producen piezas más pequeñas.

Tolerancias

Es posible conseguir buenas tolerancias de hasta 0,5 milímetros en el diámetro externo cuando se usan moldes metálicos.

Materiales relevantes

La mayoría de los que pueden colarse por otros métodos, incluyendo el hierro, los aceros al carbono, los aceros inoxidable, el bronce, los latones y las aleaciones de aluminio, cobre y níquel. Es posible fundir dos materiales simultáneamente si se introduce el segundo durante el proceso. También pueden usarse vidrios y plásticos.

Productos habituales

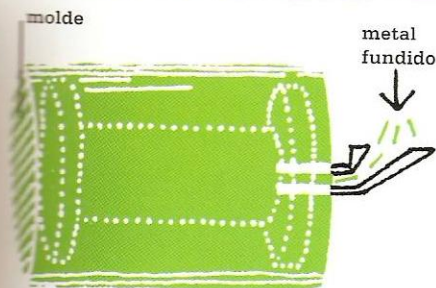
El vaciado de metales es un proceso típico de la industria pesada, donde se utiliza para fabricar piezas huecas con grandes diámetros. Objetos producidos tradicionalmente mediante el vaciado centrífugo genuino son las tuberías para la industria petroquímica y las canalizaciones de agua. El proceso sirve también para fabricar las farolas del alumbrado público y otras piezas de mobiliario urbano. El vaciado semicentrífugo produce piezas axilimétricas como recipientes para almacenar vino y leche, calderas, recipientes a presión, volantes y cilindros de motor. A escala más pequeña, los joyeros emplean la centrifugación para obtener piezas de metal y plástico de dimensiones más modestas.

Métodos similares

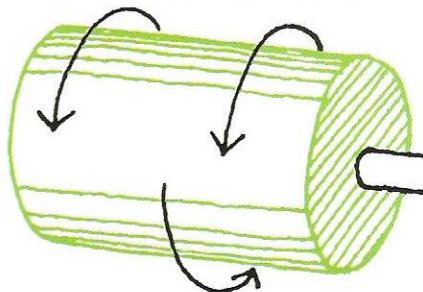
El moldeo rotativo (véase pág. 119), aunque en el vaciado centrífugo la rotación del molde es mucho más rápida. Debido al limitado número de formas que se pueden producir mediante el vaciado centrífugo, resulta difícil establecer comparaciones con otros métodos de vaciado.

Información complementaria

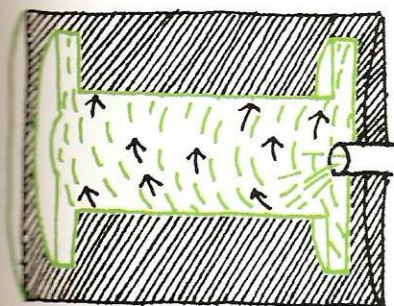
www.sgva.com/fabrication_processes/rna_centrif.htm
www.acipco.com
www.jtprice.fsnet.co.uk



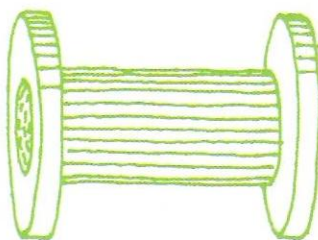
1 Se vierte metal fundido en el interior de un molde sellado.



2 Se hace girar el molde alrededor de su eje a una velocidad de entre 300 y 3.000 rpm.



3 La rotación del molde arroja el metal contra las paredes internas de aquél. La cantidad de metal determina el espesor de la pared del producto final.



4 El producto final, una vez retirado del molde.



- Se pueden fabricar piezas con buenas propiedades mecánicas en todas las direcciones, ya que el proceso no genera una orientación direccional del grano.
- La resistencia de los metales centrifugados se acerca a la de los forjados.
- Con la técnica del vaciado centrífugo propiamente dicho, la superficie externa adquiere un grano fino, lo que la hace más resistente a la corrosión.
- Son procesos que permiten rentabilizar la producción incluso con volúmenes bajos.



- Base de producción limitada.
- Reducido número de formas posibles.

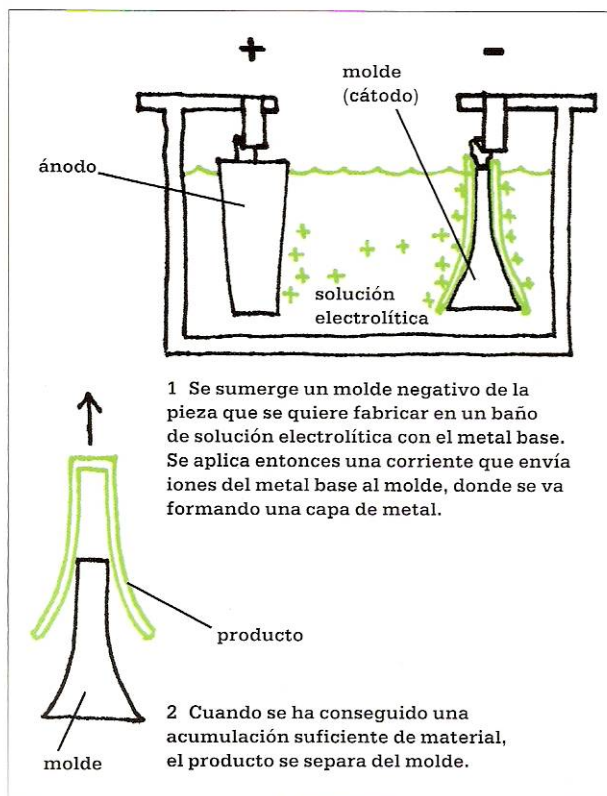
Electroconformado

Este proceso ha cambiado muy poco desde principios del siglo XIX, cuando, tomando como base los trabajos del científico británico Humphrey Davy sobre el paso de corrientes a través de electrolitos, se desarrolló la técnica de la galvanoplastia, un método para revestir metales con un baño de sus propias sales. El electroconformado –a medio camino entre el revestimiento de superficies y una verdadera técnica de conformado– es un proceso bastante particular que intenta desarrollar una especie de «piel» con la que envolver una

forma. En último término, dicha «piel» se convierte en el producto final, una vez que se ha despegado del molde. En esencia, es un paso más con respecto a la galvanoplastia, donde la capa de metal sólo actúa como revestimiento de la forma original.

El electroconformado se basa en la electrodeposición del metal en los moldes. La forma que, en la galvanoplastia simple, resultaría revestida (el cátodo), se convierte en el electroconformado en un molde sobre el que se desarrolla la fuente metalizadora (ánodo) en una solución de electrolitos. Una corriente eléctrica expulsa iones metálicos desde el ánodo hasta el cátodo. Una vez que se ha conseguido una acumulación suficiente de metal –y aquí reside la diferencia radical con respecto a la galvanoplastia–, el producto se separa del molde. No es necesario que el molde sea metálico, sino que puede estar fabricado en cualquier material no conductor que, con carácter previo a la operación del electrorrevestido, se pueda recubrir con una capa externa que sí conduzca la electricidad.

La utilidad del electroconformado radica en la posibilidad que nos procura de reproducir con facilidad diseños planos y tridimensionales muy complejos sin tener que acudir a un maquinado caro, ya que los detalles se crean en el propio molde. Es por tanto un proceso único en la medida en que crea una capa de finura homogénea alrededor del molde, a diferencia de la embutición (véase corte de metales, pág. 51) y del conformado de chapa metálica (véase pág. 44), que estira el metal, pero dejándole un grosor irregular.





Volúmenes de producción

No es un proceso adecuado para producciones rápidas o de grandes volúmenes por el tiempo necesario para cargar los moldes en la cubeta y generar la acumulación de metal.

Precio unitario frente a inversión de capital

Es una forma económica de reproducir diseños de gran complejidad sin necesidad de invertir mucho en bienes de equipo. El coste lo determina en parte la cantidad de metal utilizado, así que el precio unitario final dependerá del área de la superficie del molde y del grosor del metal depositado.

Velocidad

Proceso lento. La velocidad depende de la cantidad de metal que haya que depositar.

Superficie

Debido a la propia naturaleza del proceso (al hecho de que utiliza un molde y que las piezas se van construyendo gradualmente a partir de pequenísimos iones), el patrón de la superficie puede ser muy complejo.

Tipos/complejidad de la forma

Proceso ideal para la fabricación de unidades con formas complejas y muy decorativas. El hecho de que el molde pueda estar hecho de materiales que se pueden fundir después del electroconformado, implica la posibilidad de hacer rebajes.

Tamaño

La única limitación la impone el tamaño del baño electrolítico que alberga el molde.

Tolerancias

A diferencia de otras técnicas de conformado de metales, ésta es capaz de producir excelentes tolerancias, con idéntica acumulación de material en toda la pieza. Es distinto de lo que pasa cuando doblamos una pieza de metal, pues en este último caso se forman en las esquinas de dicha pieza zonas donde el espesor del material es mayor.

Materiales relevantes

Níquel, oro, cobre, aleaciones como el níquel-cobalto y otras aleaciones que admiten revestimiento galvanoplástico.

Productos habituales

Mucha de la plata hueca de mesa de la época victoriana, profusamente decorada, se hizo con esta técnica. En la actualidad se sigue usando en la fabricación de vajilla de plata muy ornamentada, pero también se emplea para producir aparataje de laboratorio e instrumentos musicales –las trompas de una orquesta, por ejemplo–.

Métodos similares

Además de la galvanoplastia simple, hay que citar la propia intervención del electroconformado como parte del proceso del micromoldeo (véase pág. 222).

Información complementaria

www.aesf.org

www.drc.com/metrigraphics/electroforming

www.ajtuckco.com/eformpro

www.finishing.com

www.precisionmicro.com



- Produce detalles con excelente definición.
- Genera un grosor uniforme de la pieza metálica.
- Bajos costes de mecanizado.
- Proporciona un método sencillo de hacer réplicas de productos ya existentes.
- Alta tolerancia.



- Bastante lento y, por lo tanto, caro.

La transformación de un material
hasta que adquiere un estado sólido

Este capítulo se ocupa sobre todo de un grupo de procesos que se enmarcan en el ámbito de la «pulvimetalurgia». Es éste un término que no sirve para describir con propiedad la tecnología diversa y avanzada existente hoy en día, ni tampoco los materiales. De hecho, los materiales avanzados que se utilizan no siempre se encuentran en forma de polvo, y no sólo incluyen metales, sino también cerámicas y plásticos. Se trata de procesos que, en su formulación más sencilla, se basaban en la compactación de polvos metálicos hasta que éstos adquirieran una forma determinada, así como en el posterior sinterizado de la pieza «en verde» al objeto de que las partículas se fundieran entre sí. En la actualidad, sin embargo, se pueden aplicar a muchos materiales distintos (aunque en su mayoría en forma de partículas). La única excepción a esta categoría de la pulvimetalurgia es la forja, que implica el paso de un objeto desde un estado sólido hasta otro estado también sólido.

dadación

Sinterizado

incluye el sinterizado sin presión, bajo presión y por chispa, así como el prensado en matriz y sinterizado

El sinterizado (del alemán *Sinter*, «escoria», «ceniza») se asociaba tradicionalmente con la fabricación de objetos de cerámica. En la actualidad, sin embargo, el término tiene un uso generalizado en un sector industrial mucho más amplio: la pulvimetalurgia. En esencia, el sinterizado consiste en calentar un material particulado un poco por debajo de su punto de fusión hasta que las partículas se funden entre sí.

En las industrias del metal, los plásticos, el vidrio y los materiales cerámicos, existen varias formas de sinterizado. El sinterizado sin presión conlleva la colocación del material pulverizado en un molde que se somete a calor y vibración antes de aplicar la sinterización propiamente dicha. En la variante bajo presión, el polvo se coloca en el interior de un molde donde el material también se somete a calor y vibración, pero en esta variante se aplica presión mecánica o hidráulica. En el sinterizado por chispa se hace pasar una corriente pulsada a través del molde para que llegue al material, con lo que el calor se genera internamente (por contraste con otros métodos en los que el calor se aplica desde el exterior). La combinación prensado-sinterizado se utiliza sobre todo con polvos cerámicos o metálicos. En este proceso, el polvo se prensa primeramente en un dado o matriz hasta

que adquiere el estado «en verde» de la forma que se quiere fabricar. Después se calienta el producto resultante de esta operación, de manera que las partículas se sinterizan o, en otras palabras, se funden entre sí.

El sinterizado se emplea para conseguir densidades altas en materiales cuyos puntos de fusión son elevados, como por ejemplo el tungsteno y el Teflón, y con los que se quieren obtener porosidades reducidas. Una de las características de las piezas sinterizadas, sin embargo, es que se puede controlar la porosidad del producto final, sobre todo en el caso de ciertos materiales. En algunos casos la porosidad –incluso después de la sinterización– puede tener sus ventajas: el bronce, por ejemplo, se usa con frecuencia para fabricar cojinetes, ya que precisamente es su porosidad la que permite que los lubricantes fluyan entre estas piezas. Un método alternativo que sí elimina la porosidad es el prensado isostático en caliente (PIC o, como es más conocido, HIP) (véase pág. 152).

Existe asimismo una variante avanzada del proceso, el sinterizado selectivo por láser (SLS) (véase pág. 224), en la que la aplicación del calor se controla al máximo. Este método se usa en el prototipado rápido.



Volúmenes de producción

Se puede usar con volúmenes de producción bastante bajos y también en el moldeo por inyección de metales (véase pág. 192), que requiere un mínimo de 10.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

Los costes de mecanizado pasan de ser reducidos a elevados en función del proceso específico. La propia naturaleza de esta técnica la hace muy eficiente, ya que no se desaprovecha material.

Velocidad

Varía mucho según materiales y métodos: en el método sin presión las piezas se colocan —una vez compactadas y adquirida su forma— en un horno de cinta transportadora. Para su sinterización completa, el bronce ha de permanecer en la parte central del horno entre 5 y 10 minutos, y el acero requiere un mínimo de 30 minutos.

Superficie

Aunque la pieza acabada puede ser porosa, no se aprecian diferencias entre el aspecto visual de los productos conformados con esta técnica y los fabricados mediante fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195) o moldeo por inyección de metales. Existe toda una gama de acabados aplicables a los productos sinterizados, como la galvanoplastia, el ennegrecido químico y el barnizado.

Tipos/complejidad de la forma

No es útil para fabricar secciones de pared finas. Las formas no pueden tener rebajes.

Tamaño

Está limitado por el tamaño de la prensa compactadora a un máximo de 700 por 580 por 380 milímetros. Con prensas más grandes se pueden producir unas 2.000 toneladas de presión, mientras que las piezas necesitan 50 toneladas por pulgada cuadrada (unos 772 megapascals).

Tolerancias

Debido a problemas de contracción del material (se produce una merma del volumen por el incremento de la densidad según el material fluye en el interior de los huecos), suele ser difícil obtener tolerancias elevadas, a menos que la pieza se someta a prensado y compactado secundarios.

Materiales relevantes

Se pueden sinterizar diversos materiales cerámicos, vítreos y plásticos.

Productos habituales

En el caso de los cojinetes, la porosidad natural de las piezas generada por este proceso permite un eficiente flujo del lubricante por entre ellas. Otros productos sinterizados de uso común son las herramientas de mano, el instrumental quirúrgico, las sujeciones de ortodoncia y los palos de golf.

Métodos similares

El prensado isostático en caliente (HIP) (véase pág. 152) y el prensado isostático en frío (CIP) (véase pág. 154).

Información complementaria

www.mpif.org

www.cisp.psu.edu



- Se adapta a la fabricación de productos con distintos espesores de pared.
- Buen aprovechamiento de los materiales.
- Capaz de conformar metales difíciles de procesar con otros métodos, sobre todo en el caso de materiales muy duros o quebradizos.
- Las piezas resultantes poseen buenas propiedades no direccionales.
- Sirve para producir formas complejas.

- Requiere una serie de fases distintas.
- No facilita la consecución de buenas tolerancias debido a la merma del volumen total que tiene lugar en las piezas sinterizadas.

Prensado isostático en caliente (HIP)



Producto	cuchillo de la gama Kyotop
Diseñador	Yoshiyuki Matsui
Materiales	cerámica de circonia
Fabricante	Kyocera
País	Japón
Fecha	2000

La hoja de cerámica de este cuchillo de gran calidad preserva el afilado y tiene la ventaja adicional de que la cerámica no transfiere ningún sabor a la comida. La decoración que se aprecia sobre la hoja —conocida como «efecto jardín de arena»— se graba con láser sobre la cerámica en un proceso secundario.

El prensado isostático en caliente (PIC o, como resulta más conocido, HIP) es uno de los principales métodos de conformado de metales englobados bajo la amplia denominación de «pulvimetalurgia» (se trata de un término que en la actualidad se aplica también a otros materiales particulados, entre los que se incluyen los cerámicos y los plásticos). Mediante este sistema, se le aplica calor y presión al polvo —normalmente en forma de argón o nitrógeno gaseoso— para conseguir piezas sin porosidad y con una alta densidad, no siendo por tanto necesario el sinterizado del material (véase pág. 150). El término «isostático» indica que la presión se aplica de un modo homogéneo desde todos los lados.

En esencia, el proceso consiste en la introducción de los materiales en forma de polvo dentro de un depósito, donde se los va a someter a una alta temperatura y a una presión de vacío, para eliminar de dicho material el aire y la humedad. El producto resultante, extremadamente compacto, es denso al cien por cien.

Es éste un proceso que se puede emplear, bien para conformar productos a partir de material pulverizado, bien para consolidar productos ya existentes. En este último caso no es necesario un molde, puesto que la forma ya está hecha. La técnica HIP se utiliza frecuentemente para fundidos que necesitan incrementar su densidad mediante la eliminación de las porosidades.



Volúmenes de producción

La técnica HIP se suele reservar para la fabricación de escala intermedia, con cantidades que por lo general son inferiores a las 10.000 piezas.

Precio unitario frente a inversión de capital

El proceso requiere grandes costes de montaje y productos caros.

Velocidad

Lento.

Superficie

Con los materiales cerámicos es posible conseguir calidades de superficie muy buenas, pero con otros materiales quizás necesitemos mecanizado y pulido ulteriores.

Tipos/complejidad de la forma

Se pueden producir formas desde simples hasta bastante complejas.

Tamaño

El prensado isostático en caliente sirve para producir tamaños muy variados: desde productos que se miden en milímetros hasta productos de gran tamaño que llegan a alcanzar varios metros de longitud.

Tolerancias

Bajas.

Materiales relevantes

Se pueden emplear la mayoría de los materiales, incluidos los plásticos, pero los que se usan con más frecuencia son las cerámicas avanzadas y los polvos de metales como el titanio, aceros diversos y el berilio.

Productos habituales

El coste de la operación restringe su empleo a la fabricación de productos muy específicos de buenas propiedades físicas y mecánicas. Por ejemplo piezas para motor de turbina o implantes ortopédicos. Cuando se usa con cerámicas, el proceso HIP sirve para fabricar hojas de circonia para cuchillos, cojinetes de bolas de nitruro de silicio y barrenas de carburo de tungsteno para la perforación de pozos de petróleo.

Métodos similares

Prensado isostático en frío (CIP) (véase pág. 154). Hay un moldeo por inyección adecuado a materiales cerámicos.

Información complementaria

www.mpif.org

www.ceramics.org

www.aiphp.com

www.bodycote.com

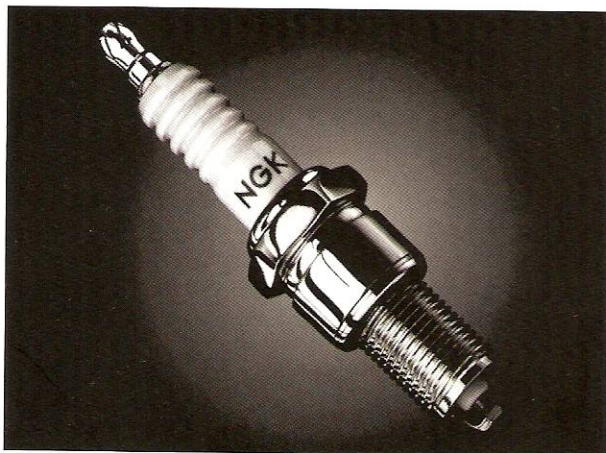
<http://hip.bodycote.com>



- Produce piezas de alta densidad y sin porosidad.
- Debido a que el proceso genera una presión uniforme, también es uniforme la microestructura del producto final, que no presenta zonas débiles.
- Capaz de producir piezas más grandes que las que se fabrican mediante otras variantes de la pulvimetalurgia.
- Sirve para producir formas complejas.
- Eficiencia en el aprovechamiento de los materiales.
- Mejora la robustez y la resistencia al agrietado de las cerámicas avanzadas.
- Elimina el sinterizado (véase pág. 150), que sí está presente como proceso secundario en otros procesos pulvimetalúrgicos.

- El dispositivo de producción tiene un montaje costoso.
- La contracción volumétrica puede ser problemática.

Prensado isostático en frío (CIP)



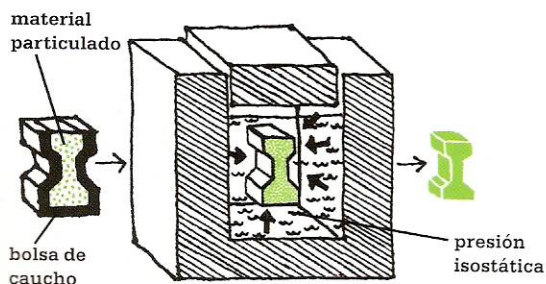
Producto	bujía
Materiales	cerámica de alúmina
Fabricante	Bosch

La bujía es un producto muy común que, sin embargo, se fabrica mediante un proceso poco conocido. La alúmina blanca es la parte que se ha fabricado mediante la técnica CIP

La mejor forma de resumir este proceso es imaginar que estrujamos arena húmeda con las manos: si escurrimos la mayor parte del agua, al final nos quedamos con una especie de medallón más bien duro que habrá tomado la forma del interior de la mano. Aunque este tipo de prensado se puede efectuar a temperaturas elevadas, el prensado isostático en frío (PIF o CIP, como se suele denominar) es un método para conformar productos de cerámica o metal a temperatura ambiente, tomando como material de partida polvos de dichos materiales. Consiste en la introducción del polvo en una bolsa flexible de caucho que se aprieta alrededor del molde cuando se aplica una presión homogénea desde todas las direcciones. De este modo el polvo se comprime y compacta hasta adquirir una densidad uniforme. El proceso procura una compactación homogénea de todo el producto, distinguiéndose así de las variantes convencionales del prensado –como el moldeo por compresión (véase pág. 158)–, que requieren moldes de dos partes.

El proceso se subdivide en dos tipos: el prensado con bolsa húmeda y el prensado mediante bolsa seca. En el primero de ellos, el molde de caucho se sumerge en un líquido que, como es de esperar, transmite la presión desde todas las direcciones. En el prensado con bolsa seca, sin embargo, la presión la ejerce un fluido bombeado a través de unas conducciones hacia la maquinaria.

Método de la bolsa húmeda



Las partículas del material se colocan en el interior de una bolsa de caucho. A continuación, se aplica presión, y ésta comprime y compacta el polvo hasta que se alcanza una densidad homogénea.



Volúmenes de producción

Los prensados con bolsa seca son procesos por lo general automatizados, desde el llenado de la bolsa con polvo hasta la fase de retirada de la pieza, pero se trata en todo caso de un sistema de producción orientado a volúmenes de fabricación bajos (miles de piezas, más que de decenas de miles).

Precio unitario frente a inversión de capital

El equipamiento mecánico puede resultar caro en producciones grandes, aunque es posible adaptar la maquinaria ya existente para la fabricación de lotes pequeños.

Velocidad

La velocidad depende de cada proceso.

En el de la bolsa húmeda hay que retirar del líquido el molde de caucho después de cada ciclo y rellenarlo. En el de la bolsa seca, la bolsa es parte integrante del molde, por lo que no hay que retirarla y se puede volver a usar para conformar múltiples piezas.

Superficie

Depende de la complejidad del producto.

Las formas simples no requieren acabado posterior.

Tipos/complejidad de la forma

Los métodos húmedo y seco se adecuan a distintos niveles de complejidad de la forma resultante. El de la bolsa húmeda se emplea para la fabricación de productos complejos gracias a la flexibilidad del molde, que permite la fácil extracción del producto. Así se pueden producir formas complejas que incluyen rebajes y ángulos entrantes, como collares y roscas. Los prensados con bolsa seca se adaptan a la fabricación de formas simples y fácilmente extraíbles del molde.

Tamaño

El método con bolsa húmeda es apropiado para la producción de formas grandes, mientras que los prensados con bolsa seca se usan para fabricar productos más pequeños.

Tolerancias

$\pm 0,25$ milímetros o 2 por ciento, lo que sea mayor.

Materiales relevantes

Cerámicas avanzadas y otros materiales refractarios, aleaciones de titanio y aceros para maquinaria.

Productos habituales

Nos encontramos ante un proceso que se utiliza en la fabricación de productos que van a usarse en condiciones duras y hostiles: herramientas de corte, componentes de cerámica avanzada (también carburos) y objetos refractarios. Otras aplicaciones de los metales y cerámicas prensados son los implantes médicos, cilindros de motor para aviones, piezas de turbinas de gas para barcos y productos resistentes a la corrosión para equipamientos petroquímicos y reactores nucleares. Sin embargo, el objeto que se fabrica con más asiduidad por medio de esta técnica es la bujía de automóvil.

Métodos similares

Prensado isostático en caliente (HIP, véase pág. 152). También es posible utilizar el moldeado por inyección con materiales cerámicos.

Información complementaria

www.dynacer.com

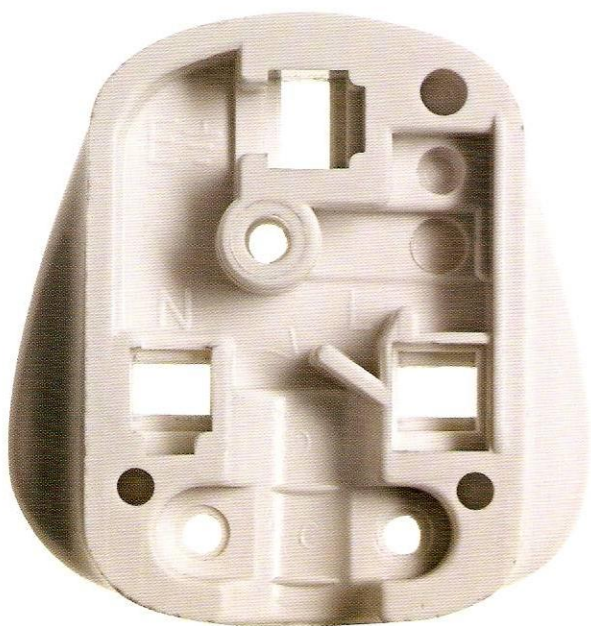
www.mpif.org/designcenter/isostatic



– La principal ventaja de la técnica CIP con respecto a otros métodos pulvimetalúrgicos consiste en su capacidad para producir a gran escala piezas de densidad uniforme e índices de contracción predecibles.

– Ritmos de producción bajos.

Moldeo por compresión

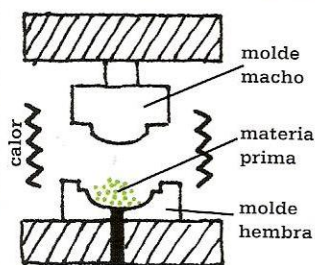


Este proceso se aplica al conformado de varios materiales diferentes. Por una parte, se emplea en la fabricación de cerámicas, pero también se puede utilizar para el moldeo de plásticos termofraguados (es el proceso original para el conformado de la baquelita) y de materiales compuestos (composites) a base de fibra.

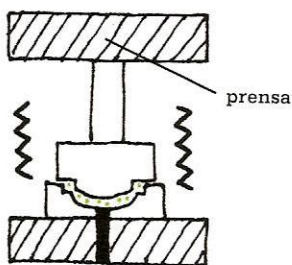
Para comprender mejor el principio fundamental del moldeo por compresión, imaginemos que unos niños juegan a hundir los puños en montones de masa pastelera con el fin de dejar bien

Producto	enchufe eléctrico
Materiales	fenol-formaldehído, también llamado fenólico o baquelita
Fabricante	MK Electric

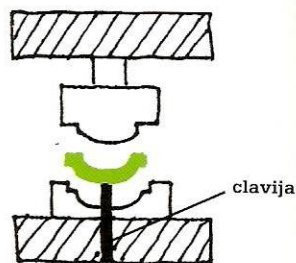
La baquelita es un producto omnipresente que desempeña un papel muy importante en nuestra vida cotidiana. Pero el proceso industrial que sirve para generar este material suele pasar inadvertido.



1 Se calienta un molde de dos partes y en su interior se coloca el material granulado (también puede ser una preforma).



2 Una prensa acerca las dos partes del molde entre sí, comprimiendo el material y confiriéndole la forma deseada. Su espesor vendrá determinado por la distancia entre las partes macho y hembra.



3 Se separan los moldes y el producto, ya conformado, se expulsa por medio de unas clavijas o barras.

marcadas sus huellas. El complejo proceso industrial que se asienta en este principio utiliza como punto de partida material granulado, no sólido, y unos moldes calentados que reproducen la

acción del puño infantil. Estos moldes de dos partes, macho y hembra, sirven para procesar cualquier cosa, desde formas gruesas y sólidas hasta recipientes de delgadas paredes.



Volúmenes de producción

Se adecua por igual a la producción en lotes o en grandes volúmenes.

Precio unitario frente a inversión de capital

En relación a otros métodos de moldeo de plásticos (por ejemplo, el moldeo por inyección, véase pág. 178), los costes de mecanizado son moderados, manteniéndose un precio unitario bajo.

Velocidad

En la velocidad influye el tiempo que el molde permanece cerrado, lo que a su vez viene determinado por el tamaño y el material de la pieza.

Superficie

Buena calidad de las superficies.

Tipos/complejidad de la forma

El moldeo por compresión se usa muchas veces para fabricar grandes piezas de plástico cuya sección de pared es bastante gruesa y cuya producción resulta más barata con este método que con el moldeo por inyección. Por la propia naturaleza del proceso –que conforma objetos mediante un molde machihembrado de dos partes–, este sistema es apto para la fabricación de formas simples sin rebajes, pero por la misma razón las piezas pueden tener espesores de pared variables.

Tamaño

Se trata de un proceso que se suele usar para producir piezas pequeñas de unos 300 milímetros en cualquier dirección.

Tolerancias

Bastante buenas.

Materiales relevantes

Materiales cerámicos y plásticos termofraguados, como la melamina. También fenólicos y compuestos de fibra y corcho.

Productos habituales

Los cacharros de cocina fabricados en melamina (ensaladeras, tazas y artículos parecidos) se suelen fabricar mediante moldeo por compresión. Otros productos típicos son las cajas eléctricas, interruptores y asas.

Métodos similares

Moldeo manual y por aspersión (véase pág. 134) y moldeo por transferencia (véase pág. 158). También es similar, aunque más costoso, el moldeo por inyección (véase pág. 178).

Información complementaria

www.bpf.co.uk

www.corkmasters.com

www.amorimsolutions.com



- Ideal para conformar plásticos termofraguados.
- Ideal para fabricar piezas que requieren secciones grandes, gruesas y sólidas.
- Permite variaciones en la sección y el espesor de la pared.

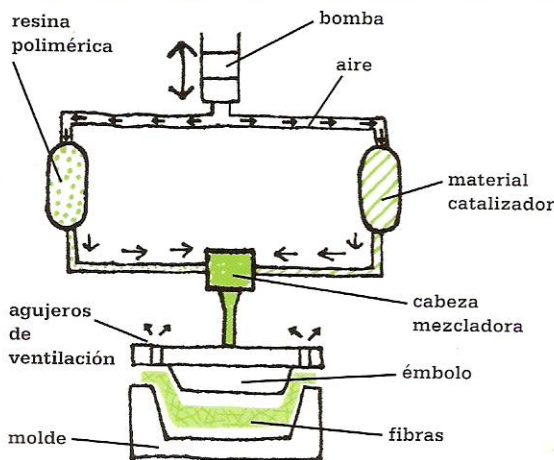
- Tiene limitaciones por lo que respecta a la complejidad de las formas, aunque resulta útil para la fabricación de formas planas (platos llanos, por ejemplo).

Moldeo por transferencia



Producto	paneles para la carrocería de un autobús londinense
Materiales	plástico termofraguado relleno de vidrio

Los paneles de carrocería de este tipo de autobús se han fabricado mediante moldeo por transferencia. La facilidad con la que el material fluye por el interior del molde permite fabricar productos grandes sin sacrificar el control del grosor de la pared.



Se calienta una resina polimérica y se introduce en un cargador. Allí, un émbolo comprime el material y lo «transfiere» a la cavidad de un molde cerrado.

Nos encontramos ante una alternativa al moldeo por compresión (véase pág. 156) que participa además de algunas de las ventajas del moldeo por inyección (véase pág. 178).

El moldeo por transferencia se utiliza habitualmente para realizar objetos de gran tamaño con grosores de pared diversos y finura de detalles en la superficie.

El proceso conlleva el calentamiento de una resina polimérica y su introducción en un cargador, donde un émbolo comprime el material. Una vez calentada, la resina se «transfiere» entonces a la cavidad de un molde cerrado. Las características que definen el moldeo por transferencia son precisamente este calentamiento del material antes de su transferencia y la utilización de un molde cerrado. De este modo, el material fluye con facilidad por el interior de la cavidad, lo que a su vez produce una precisión mayor en el control de secciones de pared delgada y hace posible la consecución de detalles de gran finura en las piezas. Se pueden fabricar así materiales compuestos (composites), mezclando fibras con la resina o disponiendo en el interior del propio molde las fibras de refuerzo.



Volúmenes de producción

Aunque el moldeo por transferencia se solía asociar a volúmenes de producción pequeños, algunos desarrollos recientes han permitido que este método se convierta en un proceso industrial generalizado.

Precio unitario frente a inversión de capital

Debido a su ciclo rápido, el moldeo por transferencia se ajusta a producciones grandes, de donde se deriva la ventaja de un bajo coste unitario. A pesar de ello, los costes de mecanizado son elevados.

Velocidad

Este parámetro varía enormemente en función del tamaño de la pieza y del contenido de fibra. Con piezas pequeñas, los tiempos de ciclo pueden reducirse a tres minutos, mientras que si los productos moldeados son grandes y complejos, resulta normal un ciclo de hasta dos horas.

Superficie

Se puede conseguir un buen acabado de la superficie, parecido al que se obtiene mediante el moldeo por inyección (véase pág. 178).

Tipos/complejidad de la forma

Parecidos a los del moldeo por inyección, aunque no hay que olvidar que los moldeos complejos pueden incrementar bastante la duración de los ciclos de producción.

Tamaño

Este proceso permite tamaños mucho mayores que, por ejemplo, el moldeo por

inyección. Por citar un ejemplo, la Ford consiguió sustituir el frontal completo del Ford Escort –que constaba de 90 piezas– por un ensamblaje de dos únicas piezas moldeadas mediante transferencia.

Tolerancias

Debido al uso de un molde cerrado, el moldeo por transferencia consigue una tolerancia mayor que la que permite, por ejemplo, el moldeo por compresión (véase pág. 156).

Materiales relevantes

Los más utilizados son los plásticos termofraguados y los compuestos.

Productos habituales

Asientos de retrete, hojas de hélice y piezas para la industria de la automoción (como los paneles de carrocería de la ilustración); todos estos productos se fabrican habitualmente mediante moldeo por transferencia.

Métodos similares

El moldeo por compresión (véase pág. 156) –aunque presenta varias desventajas en comparación con el moldeo por transferencia– y el moldeo por inyección (véase pág. 178), que no resulta tan adecuado para el conformado de materiales compuestos. El proceso de infusión al vacío (VIP) (véase pág. 136) también sirve para conformar composites.

Información complementaria

www.hexcel.com

www.raytheonaircraft.com



- Ritmos de producción razonablemente rápidos.
- Permite la fabricación de piezas complejas y sofisticadas.
- Permite la fabricación de productos grandes con diversos espesores de pared, tanto gruesos como delgados.



- Mal aprovechamiento de los materiales debido a que durante el proceso de moldeo se dejan sobrantes de material en los canales de colada.
- La maquinaria es cara.

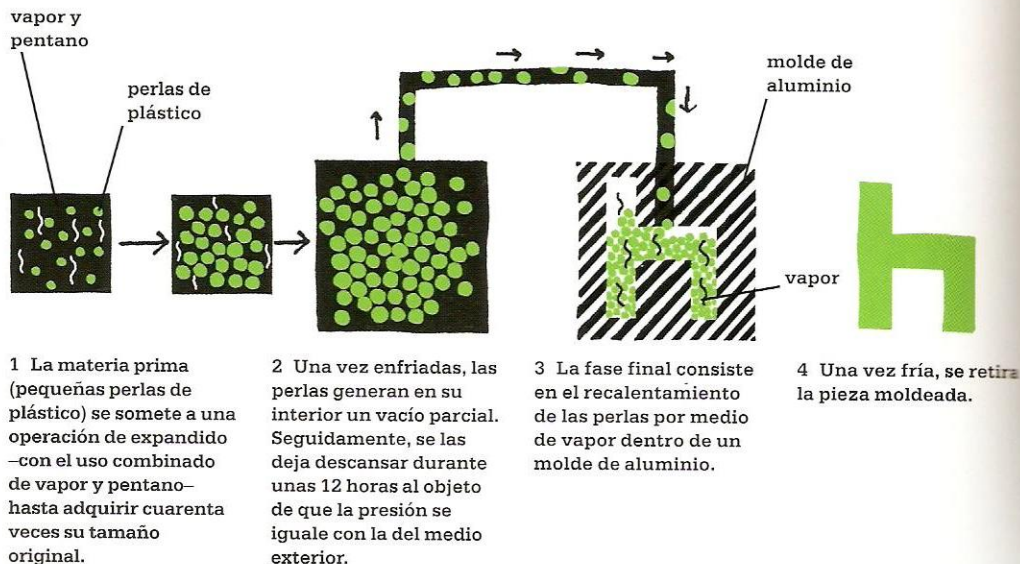
Moldeo de espuma

A diferencia de muchos otros procesos con plásticos, la producción de espuma plástica expandida requiere que el material –en el caso de la silla de la ilustración, polipropileno expandido (EPP)– pase por un proceso de pre-expansión antes de la fabricación propiamente dicha. Es un poco como preparar los ingredientes antes de lanzarse a cocinar una receta.

La materia prima de este proceso consiste en unas perlas muy pequeñas que, de forma previa al moldeo, son expandidas con gas pentano y vapor hasta adquirir cuarenta veces su tamaño original. Ello hace que las perlas entren en ebullición, después de lo cual se dejan enfriar y se estabilizan. Dentro de cada una de estas perlas se forma un vacío parcial, y para que se compensen

temperatura y presión en el interior, se dejan reposar durante varias horas. Posteriormente se recalientan y, con ayuda de vapor, se inyectan en el molde y se funden (también es posible realizar la expansión inicial de las perlas dentro del molde final, en lugar de inyectar en éste las perlas ya fundidas). El molde no difiere mucho del que se utiliza en el moldeo por inyección (véase pág. 178), y posee una cavidad donde se conforma el producto final. El resultado final de este procedimiento son plásticos que contienen hasta un 98 por ciento de aire.

La silla infantil Seggiolina Pop, diseñada por Enzo Mari, aprovecha estas propiedades de un modo que verdaderamente constituye una reivindicación de la espuma plástica. Ello contrasta con otras aplicaciones



suyas más habituales, en las cuales la espuma suele quedar escondida en una caja de cartón o debajo de un tapizado.

Además de producir objetos y productos autónomos, varios fabricantes han desarrollado una

tecnología que permite moldear directamente el polipropileno en el interior de la estructura externa de otros productos, reduciendo de este modo los tiempos de montaje y los costes de producción.



Producto	silla Seggiolina Pop
Diseñador	Enzo Mari
Materiales	polipropileno expandido (EPP)
Fabricante	Magis
País	Italia
Fecha	2004

Los alegres colores de la silla Seggiolina contribuyen a transformar un material de uso habitualmente industrial en un producto inteligente, divertido y ligero para los más pequeños.



Volúmenes de producción

Proceso para la producción de alto volumen.

Precio unitario frente a inversión de capital

La maquinaria-herramienta de aluminio puede ser muy cara, aunque produce piezas unitarias con gran eficiencia de costes.

Velocidad

Los tiempos de ciclo de este tipo de moldeo suelen estar entre uno y dos minutos, dependiendo del material.

Superficie

Es posible colorear y estampar el material con diseños de superficie y también moldear en esta última elementos gráficos. La superficie depende de la densidad de la espuma que se necesite, pero todos los productos moldeados por este método van a tener el texturado final que caracteriza este tipo de materiales. También es posible producir distintas combinaciones de colores en los mismos productos, ofreciendo así un aspecto polícromo y veteado.

Tipos/complejidad de la forma

El nivel de complejidad formal es parecido al que se puede obtener mediante moldeo por inyección (véase pág. 178), aunque las paredes son más gruesas y voluminosas.

Tamaño

El moldeo de espuma es un proceso muy versátil capaz de producir piezas diminutas de 20 milímetros cúbicos y bloques con perfiles de 1 por 2 metros.

Tolerancias

Las tolerancias varían levemente entre materiales, pero en general es posible conseguir una precisión de en torno al 2 por ciento de las dimensiones totales, con cifras ligeramente más altas para los espesores de pared.

Materiales relevantes

Poliestireno expandido (EPS), polipropileno expandido (EPP) y polietileno expandido (EPE).

Productos habituales

Tablas de surf y cascos para bicicletas, embalajes (incluidas las bandejas para frutas y verduras), elementos de aislamiento acústico o térmico, el relleno de los reposacabezas de automóvil (que protege contra impactos en la cabeza) y el de la columna de dirección, así como los núcleos de los paragolpes.

Métodos similares

El moldeo por inyección (véase pág. 178) y el moldeo por inyección-reacción (véase pág. 181).

Información complementaria

www.magismetoo.com

www.tuscarora.com

www.epsmolders.org

www.besto.nl



- **Gran versatilidad por lo que respecta a la escala y a las aplicaciones.**
- **Mejora las propiedades estructurales del producto.**
- **Reduce su peso.**



- **Maquinaria cara.**

Moldeo de espuma en carcasa de madera contrachapada

Las ventajas estructurales y la ligereza de las chapas de madera ya las tuvieron presentes los fabricantes de los primeros aeroplanos, como el *Mosquito*, y tampoco la utilización de finas chapas de madera como elemento de construcción es precisamente una novedad en el sector de la manufactura del mueble. No obstante, nuestro interés en esta tecnología va orientado ahora hacia ciertas aplicaciones más innovadoras en la industria del mueble.

La construcción, con esta tecnología, de la silla *Laleggera* (en la imagen), ejemplifica una técnica de fabricación con un enfoque opuesto. Tomando como punto de partida las finas láminas de madera, el fabricante construye la silla del mismo modo que un niño armaría un juguete: tomando una serie de formas simples encoladas en los bordes que forman una carcasa hueca sin integridad estructural. Para dotar de esta integridad al caparazón, se le inyecta una espuma de poliuretano que, una vez curada, se vuelve rígida. Este procedimiento es en realidad una adaptación del moldeo de espuma convencional (véase pág. 160). En ese proceso, se inyecta la espuma mediante vapor en un molde de aluminio, donde se expande y crea su propia envoltura, hasta que, finalmente, se extrae del molde.

La gran virtud de la gama de muebles *Laleggera*, y del propio proceso desarrollado por Alias, consiste en que utiliza dos materiales y métodos muy poco comunes y los combina para producir un nuevo producto de la industria del mueble cuya ligereza resulta irresistible.

Producto	silla de la gama <i>Laleggera</i>
Diseñador	Riccardo Blumer
Materiales	espuma de poliuretano y chapas de madera
Fabricante	Alias
País	Italia
Fecha	1996

«*Laleggera*» quiere decir en italiano «la ligera», y, en efecto, esta silla merece sin duda el apelativo. La novedosa técnica de fabricación que la ha hecho posible supone un interesante maridaje de materiales que no se suelen utilizar conjuntamente.





Volúmenes de producción

Éste es un método de producción único, por lo que no existe término de comparación. No obstante, los fabricantes del producto afirman que en 2005 se manufacturaron más de 8.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

No disponemos de esta información, aunque cabe suponer que para montar el dispositivo de producción fue necesario un cierto número de experimentos. También hay que decir que estos materiales (la combinación de material cortado en chapas y la espuma inyectada) permiten la experimentación sin que haya que recurrir a sofisticadas tecnologías ni fuertes inversiones.

Velocidad

Fabricar cada una de estas sillas, desde el principio hasta el final del proceso, requiere cuatro semanas.

Superficie

El acabado de superficie que nos proporciona esta forma de producción depende enteramente de la madera contrachapada, y no del núcleo de espuma. Por lo demás, la superficie de aquella varía en función del tipo de madera escogida.

Tipos/complejidad de la forma

Las formas vienen determinadas por la posibilidad que nos ofrece la madera contrachapada de cortar y montar el material a modo de carcasa hueca.

Tamaño

La mesa –la pieza más grande de esta colección– mide 240 por 120 por 73 centímetros.

Tolerancias

Esta información no se encuentra disponible, pero podemos suponer que las tolerancias vendrán regidas por la propia madera contrachapada y su capacidad de responder a la inyección de espuma.

Materiales relevantes

La silla utiliza una combinación de madera contrachapada para la estructura externa y espuma de poliuretano para la interna.

Productos habituales

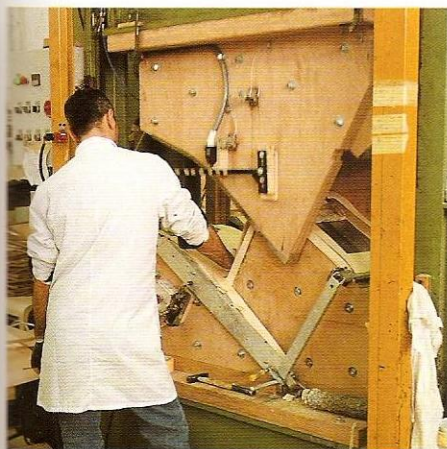
El carácter singular de este método explica que sólo se haya utilizado para fabricar sillas y una mesa. Sin embargo, no hay razón para pensar que su principio operativo no se pueda extender a la fabricación de otros objetos que requieran resistencia y ligereza.

Métodos similares

Este método de producción lo ha creado la firma Alias en colaboración con el diseñador Riccardo Blumer. Según los fabricantes, no hay técnicas de fabricación que se le parezcan. Lo más cercano a una analogía en las páginas de este libro –aunque se aplique a la fabricación de productos muy distintos– lo encontraríamos en el inflado de maderas (véase pág. 166).

Información complementaria

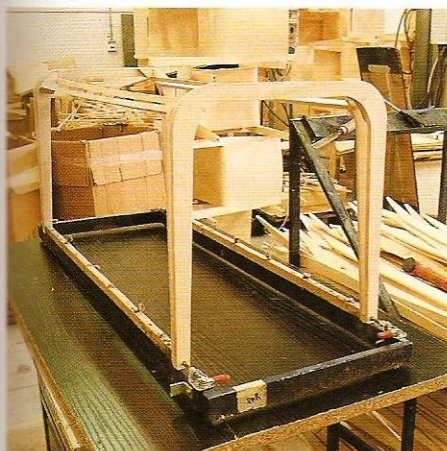
www.aliasdesign.it



1 Se conforma el armazón (en este caso, de una mesa) en una prensa machihembrada de dos partes.



2 Las piezas ya conformadas y listas para el montaje.



3 La estructura de la mesa se arma pegando las piezas conformadas.



4 Unas prensas dan forma a la madera contrachapada que reviste el armazón de la mesa.

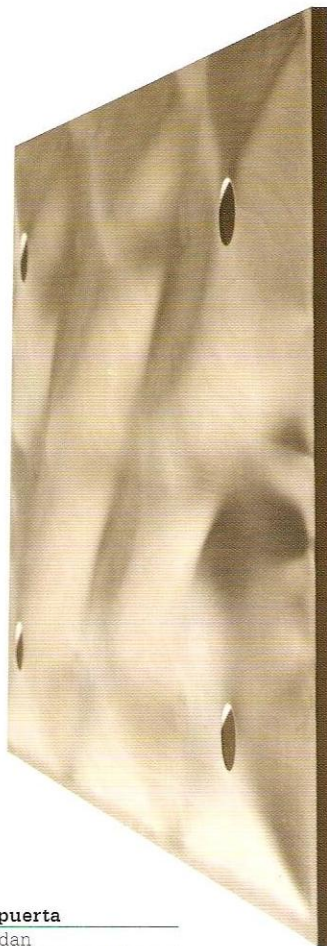
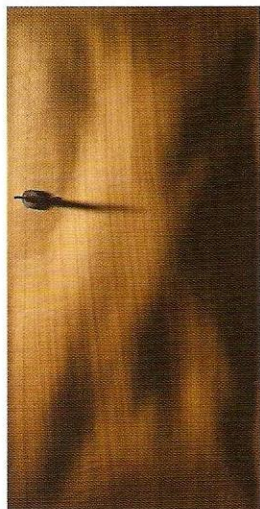


– La combinación de materiales crea productos robustos y a la vez ligeros.



– Para que el dispositivo de producción funcione a pleno rendimiento hace falta una fase de tanteos mediante prueba y error.
– La base de producción es limitada.

Inflado de maderas



Producto	panel para puerta
Diseñador	Malcolm Jordan
Materiales	chapa de madera con núcleo de espuma
Fabricante	Curvy Composites
País	Reino Unido
Fecha	2005

Las curvas ondulantes, compuestas y orgánicas generadas mediante este singular proceso permiten que estas chapas de madera adopten un aspecto visual que encaja a la perfección con la natural calidez del tacto de la madera.

Posiblemente, la madera fue uno de los primeros materiales que usaron los humanos para fabricar objetos. Pero, historia aparte, existen numerosos métodos innovadores para dar forma y transformar este producto básico (en sus diversas presentaciones) y conferirle un nuevo estado. En concreto, en la transformación de la mayoría de las maderas suele intervenir la cuchilla, pero el proceso que se describe a continuación nos ofrece un sistema mucho más delicado de conformar maderas. Se basa, para el control del resultado final, en la pauta que sigan las vetas del material.

El proceso de laminado de chapas de madera a contraveta lo inventaron los antiguos egipcios. Mucho más reciente es el desarrollo de la técnica para doblar la madera contrachapada y así generar curvas. Por último, el nuevo proceso de inflado de maderas constituye el siguiente peldaño de sofisticación en las técnicas de conformado de esta materia prima. Dar forma a la madera para que describa líneas parabólicas ha sido siempre un proceso caro y laborioso. Sin embargo, el diseñador Malcolm Jordan ha creado un procedimiento único para que la madera contrachapada adopte una serie de perfiles ondulantes y controlados. El secreto de este proceso, no obstante, permanece sin desvelar.

La idea cobró vida en uno de los muchos proyectos sugerentes salidos del curso de diseño tridimensional que organiza la Universidad de Brighton, en la costa meridional inglesa. Citemos al propio Malcom Jordan: «Yo vengo del mundo de la aeronáutica. Tengo el título de ingeniero de helicópteros, y es posible que el haber vivido rodeado

de estructuras ligeras fabricadas en materiales compuestos haya influido en mi línea de experimentación. Eso me llevó a realizar una serie de experimentos en los cuales introducía núcleos de diversos materiales en el interior de unos delgados revestimientos de madera contrachapada». El resultado final de estas pruebas es una estructura compuesta en la que la madera contrachapada sirve para emparedar un núcleo de espuma. Determinadas zonas

de la superficie de la madera van embridadas a una horma de sujeción. Se introduce entonces una espuma líquida de expansión, de manera que las superficies no sujetas se mueven libremente y forman curvas compuestas. Ni la técnica de producción ni el tamaño de estas forman ondulantes se limitan al uso de tablas lineales y paralelas, sino que la única restricción la imponen los tamaños predeterminados de las láminas de contrachapado.

Volúmenes de producción

Procedimiento óptimo para la producción en lotes, y no tanto para la fabricación en masa de grandes volúmenes.

Precio unitario frente a inversión de capital

La inversión de capital es baja y los costes por unidad son moderados si se compara este proceso con otros parecidos (véase más adelante).

Velocidad

Depende de la forma o del producto requeridos: por ejemplo, si se trata de un lote de paneles para cubrir paredes, se puede hacer un premontaje de los revestimientos y las estructuras. La inyección de espuma es un proceso rápido, aunque puede ser necesario que el conjunto permanezca embridado a la horma de sujeción durante ocho horas a fin de que cure la espuma. Por ello, se aceleraría la producción si se usaran múltiples hormas de sujeción.

Tipos/complejidad de la forma

Se pueden fabricar paneles que sean planos por una cara y ondulados por la otra, o con dos caras onduladas simétricas. Como es posible doblar los recubrimientos de madera contrachapada antes de inyectar la espuma, el proceso no tiene que limitarse a la fabricación de tableros lineales y paralelos. Durante la producción se pueden instalar encastres sólidos que permitan «puntos duros» para el anclaje de patas o accesorios, o la unión de dos secciones.

Tamaño

La escala se encuentra limitada por los tamaños predeterminados de las láminas de contrachapado. Esta técnica se podría usar en la industria del mueble, pero casi con toda seguridad su enorme potencial reside en un sinfín de aplicaciones escultóricas y espaciales en los campos de la arquitectura y el diseño de interiores.

Tolerancias

Someter una materia natural a presión para modelar sin restricciones formas tridimensionales «no naturales» no resulta precisamente un proceso exacto. En un primer momento, se experimentaron problemas con la predicción de las curvas resultantes, obteniéndose a veces resultados inesperados. Sin embargo, una vez identificados los puntos de presión y siendo constantes la temperatura y la cantidad de espuma, se pueden reproducir resultados muy parecidos entre sí en su aspecto visual.

Materiales relevantes

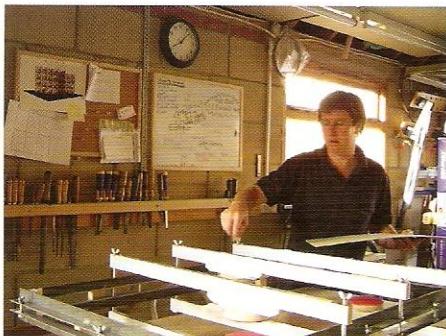
Espuma de poliuretano expandible (existen variantes con aditivos inifugos y versiones sin isocianatos libres), aerocapa con revestimiento de abedul y espesores que van desde los 0,8 hasta los 3 milímetros.

Métodos similares

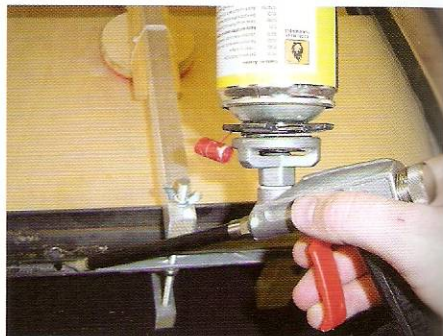
El conformado tridimensional profundo de madera contrachapada (véase pág. 67) y el moldeo de espuma en carcasa de madera contrachapada (véase pág. 163).

Información complementaria

www.curvycomposites.co.uk



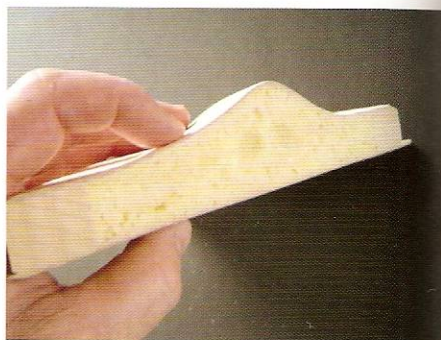
1 Se monta una horma de metal para sujetar el panel de madera contrachapada.



2 Preparativos finales de la madera contrachapada antes de introducir la espuma.



3 El acabado del panel moldeado.



4 Sección transversal de una muestra donde se aprecia el núcleo de espuma.



- El producto resultante combina ligereza y resistencia, distribuyendo la carga por todo el revestido de la madera contrachapada.
- Resistencia de alto impacto, con propiedades para el aislamiento termoacústico.
- Elimina la necesidad de usar complejas técnicas de moldeado, tallado manual o mecanizado.



- El control de la presión de la espuma. Actualmente, la cantidad y presión de la espuma inyectada se regula mediante dispositivos limitadores de entrada y salida, aunque la experiencia demuestra que la presión generada puede causar la ruptura de la madera (que va acompañada de una gran explosión).
- El doblado del material contrachapado puede hacer más visibles los defectos de la madera, causados en ocasiones por las herramientas de fabricación durante el corte de las chapas. Esto se puede evitar mediante una selección cuidadosa del material o mediante la adición de una lámina al contrachapado.
- Sólo hay un fabricante que disponga de este proceso.

Forja

con dado abierto y dado cerrado (por gravedad), con prensa y forja con recalcado (cabeceado)

La forja es uno de los principales procesos de tratamiento de los metales. En su plasmación industrial, a veces utiliza máquinas de tamaño gigantesco, que dan forma a las piezas golpeándolas una y otra vez. Se trata de un método que no sólo conforma el metal, sino que también altera sus propiedades físicas, fortaleciendo su resistencia y ductilidad. En la variante más sencilla y manual de la forja –con dado abierto–, el proceso consiste en calentar un bloque de metal justo por encima de su temperatura de recristalización y darle forma a continuación mediante golpes de martillo, igual que hacían los herreros tradicionales. El movimiento de la pieza de trabajo resulta crucial en este caso. Además, en las fábricas actuales, la técnica incorpora una serie de variantes con forjaduras en caliente y en frío.

La forja con dado cerrado (o por gravedad) consiste en realidad en un proceso muy parecido al que usa un dado abierto. En este caso, sin embargo, el martillo o martinete va inserto en una máquina y cae repetidamente sobre el metal, que descansa sobre una matriz conformada. La forma de ambos



Producto	llave semiacabada en basto
Materiales	acero
Fabricante	no se informa del fabricante original, aunque el acabado corre a cargo de la firma británica King Dick Tools
País	Alemania y Reino Unido

Esta llave de estrella semiacabada es el fruto de una forjadura por gravedad. Se muestra aquí en el momento previo a su acabado final, que requiere el taladro de un agujero piloto y el brochado con una herramienta de dientes de sierra para obtener las doce puntas.

elementos determina la que poseerá la pieza final. Además, la forja por gravedad puede realizarse en frío o en caliente. La técnica en caliente, que implica el calentamiento de la pieza en tosco, genera productos más robustos debido a la realineación del grano.

La forja con prensa consiste en comprimir lentamente una barra

precalentada entre dos rodillos, los cuales van dando forma al metal a medida que éste alimenta el sistema. El cabeceo se usa para «recalcar» o dar forma a los extremos de un vástago de metal mediante su compresión mientras están sujetos al dado. Entre los productos que se fabrican con este último proceso están los clavos o pernos.



Volúmenes de producción

Desde sencillas forjas manuales hasta tiradas de unas 10.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

En la forja en caliente con dado abierto –la técnica manual–, el coste depende de la mano de obra cualificada. En los métodos automatizados, las inversiones en bienes de equipo pueden ser muy elevadas.

Velocidad

El proceso es bastante lento, en parte por el hecho de que la gran mayoría de métodos de forja son en caliente, con lo que hay que calentar las piezas de trabajo antes del conformado.

Superficie

Las piezas de forjatura suelen necesitar mecanizado para conseguir una superficie lisa y óptima, sin la rebaba plana formada, fruto de la presión, en el exterior de la pieza.

Tipos/complejidad de la forma

La variante de forja escogida determinará la complejidad y tipología de la forma resultante. En la forja por gravedad suelen ser necesarios los ángulos de inclinación lateral, amén de que hay que diseñar líneas divisorias si queremos crear formas complejas. Dichos ángulos varían según los casos, pues dependen del tipo de metal utilizado.

Tamaño

Se puede usar la forja con piezas que pesan desde unos pocos gramos hasta media tonelada.

Tolerancias

No es fácil conseguir tolerancias elevadas, en parte por el desgaste del dado. El espectro de tolerancias varía, asimismo, según los distintos metales empleados.

Materiales relevantes

Con la forja en caliente se pueden conformar casi todos los metales y aleaciones. Ahora bien, la facilidad de la forjatura varía enormemente en función de cada caso.

Productos habituales

Dado el incremento de la resistencia inducido en los productos por el proceso de forjado (en comparación con los metales fundidos), es frecuente la utilización de esta técnica en motores y estructuras aeronáuticas. Otras aplicaciones son la fabricación de martillos y llaves para tuercas y los artículos de espadería y catanas.

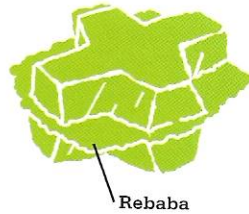
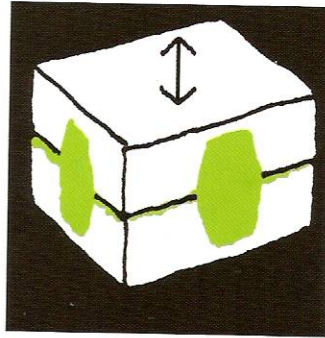
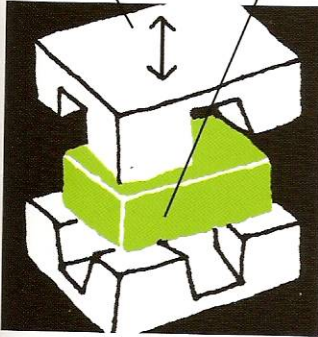
Métodos similares

Forja pulvimetalúrgica (véase pág. 172). Tanto la extrusión por impacto (véase pág. 128) como el estampado por rotación (véase pág. 88) son variantes de la forja.

Información complementaria

www.forging.org
www.iiftec.co.uk
www.key-to-steel.com
www.kingdicktools.co.uk
www.britishmetalforging.com

«martillo» o martinete pieza de metal en tosco



1 En la forja en caliente con dado cerrado, se calienta una pieza de metal en tosco y se coloca en la cavidad de un dado.

2 Las partes cóncava y convexa del molde comprimen el metal, por medio de una acción de martilleo en el interior de la cavidad.

3 Se extrae la pieza del molde para eliminar la rebaba resultante mediante mecanizado.



- Una de las ventajas principales de la forja es que posibilita el control de la estructura del grano en el metal. Permite, en efecto, que el flujo del grano se alinee conforme a configuraciones específicas, volviendo la pieza más robusta y dúctil al mismo tiempo.
- No aparecen huecos ni rechupes en el metal como sucede con la fundición en matriz (véase pág. 195) y la fundición en arena (véase pág. 202).
- Mejor aprovechamiento que con bebederos y canales de colada.



- Las piezas de forja suelen requerir mecanizado para eliminar la rebaba que deja la unión de las dos mitades del dado.

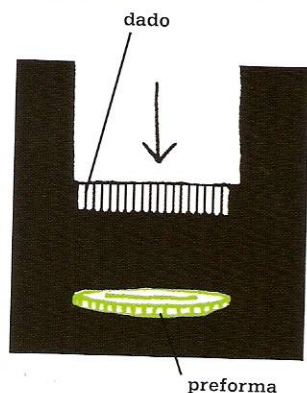
Forja pulvimetalúrgica

TAMBIÉN LLAMADA

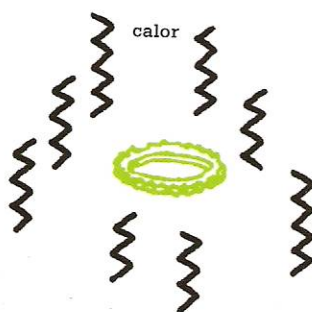
forja con sinterizado

La forja pulvimetalúrgica, un proceso encuadrado en el ámbito de la metalurgia de polvos, combina el sinterizado (véase pág. 150) con la forja (véase pág. 169) para la fabricación de distintos productos. Como sucede con otras variantes de la pulvimetalurgia, este procedimiento se inicia con el tratamiento del polvo de metal para que alcance su estado «en verde» dentro de una matriz, es decir, que lo que tenemos ahora es una «preforma» todavía muy distinta de lo

que será el resultado final. Después se sinteriza dicha preforma a fin de obtener un producto sólido, que luego se extrae del horno, se reviste con algún material lubricante como el grafito y se transfiere a una prensa de forjar. Allí se trabaja mediante forja en dado cerrado, lo que obliga a las partículas de metal a entremezclarse hasta convertirse en una masa densa y sólida. La compactación adicional que procura este proceso da como resultado objetos muy densos y nada porosos.



1 En el interior de un dado o matriz se comprime el polvo de metal hasta que éste alcanza su estado «en verde». Así se obtiene la preforma.



2 Se sinteriza la preforma para obtener un producto sólido. Éste se retira del horno, se reviste con algún lubricante como el grafito y se transfiere a una prensa de forja.



3 Se conforma el producto final en una forja de dado cerrado, obligando así a las partículas de metal a entremezclarse y configurar una masa densa y sólida.



Volúmenes de producción

Son elevados, superándose muchas veces las 25.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

Este proceso para la producción de grandes volúmenes resulta caro, en parte por la necesidad de dos juegos de dados. Para producir objetos económicos, por lo tanto, hacen falta grandes producciones.

Velocidad

Dependiendo del dispositivo de producción y de las dimensiones del producto, se pueden conseguir velocidades altas.

Superficie

Buena superficie que no requiere un proceso secundario como el tratamiento térmico.

Tipos/complejidad de la forma

Es un método capaz de producir formas complejas. La forja pulvimetalúrgica acepta una gran variedad de espesores de pared, que pueden llegar a ser de sólo 1 milímetro. No es posible hacer rebajes.

Tamaño

Parecida a la de la forja por gravedad y a la de la forja con prensa (véase, para ambas técnicas, pág. 169): a modo de referencia, piénsese en una llave de tuercas o en un engranaje (de unos 200 milímetros de diámetro).

Tolerancias

Una de las ventajas de este proceso es que sirve para fabricar piezas con tolerancias superiores a las que se obtienen con otros métodos de forja.

Materiales relevantes

La mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos. Muchos forjados pulvimetalúrgicos utilizan hierro con pequeñas cantidades de cobre y carbono.

Productos habituales

Componentes de ingeniería para muy diversos sectores industriales: piezas para la industria de la automoción, vástagos de conexión, levas, herramientas de mano y componentes de transmisión.

Métodos similares

Forja por gravedad y forja con prensa (véase pág. 169). También, el moldeo por compresión (véase pág. 156).

Información complementaria

www.mpif.org/DesignCenter/powder_forge.asp?linkid=43
www.gknsintermetals.com/technology/powder
www.ascosintering.com



- No hay huecos ni rechupes en el metal, lo que sí puede pasar, por ejemplo, en la fundición en arena (véase pág. 202).
- En comparación con otros procesos pulvimetalúrgicos, este tipo de forja confiere a las piezas una ductilidad y resistencia mayores.
- Buen aprovechamiento del material, con menos pérdidas que en otras variantes de la forja (véase pág. 169).
- Requiere muchas menos operaciones de postconformado que otros métodos de forja.

- El equipamiento mecánico es caro, por lo que son necesarios grandes volúmenes de producción.

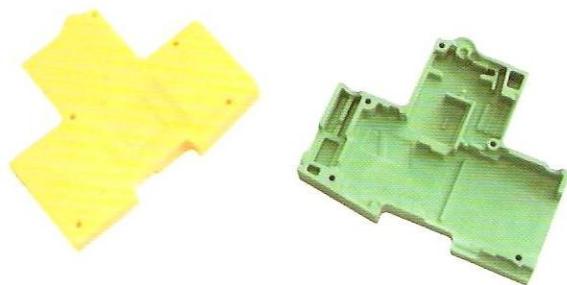
Prototipado por vaciado de precisión (Precise-Cast Prototyping o pcPRO®)

El Instituto Fraunhofer de Alemania es uno de los organismos de investigación más importantes del mundo en el campo de los materiales y procesos de fabricación. No hace mucho, este instituto desarrolló un método de producción denominado en inglés Precise-Cast Prototyping: el prototipado por vaciado de precisión.

Este sistema de prototipado rápido (conocido también como pcPRO®) combina operaciones de fundición y fresado en una única máquina. Presenta dos fases: en primer lugar, se utiliza una fresadora (véase pág. 14) para recortar un molde a partir de un bloque de aluminio

basándose en información suministrada por un archivo CAD. A continuación, este molde se rellena con una resina polimérica. Una vez endurecida la resina, la propia máquina fresadora le da su exacta forma final. Lo esencial de este proceso es que permite que una cara del producto (la cara moldeada) se pueda replicar con plena exactitud cada vez que se rellena el molde, mientras que la otra cara (la fresada) puede adaptarse según la información del archivo CAD.

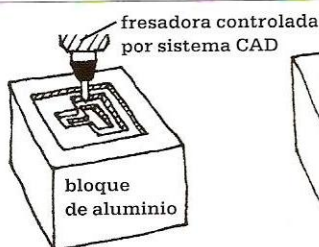
Lo normal es que el prototipo de un producto requiera numerosos ajustes antes de su optimización, obligando a su modelador a empezar desde cero con



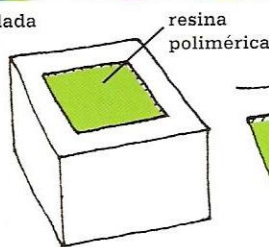
Producto componentes de muestra

Materiales	resina polimérica
Fabricante	Instituto Fraunhofer
País	Alemania
Fecha	2004

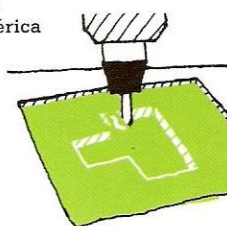
Estos componentes de muestra, que aquí vemos tanto desde arriba como en su parte inferior, muestran los detalles del mecanizado dirigido por ordenador. Se aprecian las líneas de corte en la superficie, mientras que la cara moldeada es plana.



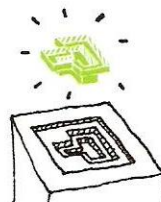
1 Se genera un archivo CAD con información sobre la forma deseada. Esta información se transfiere a la fresadora, que talla un molde en un bloque de aluminio.



2 Se llena el molde con resina polimérica.



3 Una vez que se ha endurecido la resina, la propia máquina fresadora labra en ella, con total precisión, la forma final.



4 Se extrae la pieza definitiva.

cada cambio. Con este tipo de prototipado de precisión, sin embargo, los cambios sólo se efectúan en los datos del archivo informático. La principal ventaja es que en la fabricación de productos tales como las carcasas

de distintos artículos de electricidad –una de cuyas caras necesita ajustes finos de la forma– es posible producir réplicas múltiples mediante un molde y posteriormente modificar tan sólo una superficie con ayuda de archivos CAD.



Volúmenes de producción

Éste es un proceso de diseño asistido por ordenador, por lo que se adecua igualmente a la fabricación de piezas únicas y a la producción en lotes, aunque, evidentemente, la parte moldeada del producto se mantiene constante y las «piezas únicas» sólo difieren en la cara sometida al fresado.

Precio unitario frente a inversión de capital

El equipamiento (en este caso el molde) se fabrica con la misma máquina que hace el producto, de donde se deriva que el prototipado por vaciado de precisión es muy rentable.

Velocidad

El fresado del molde suele tardar entre media y dos horas; el moldeado y curado de la resina y el fresado de cada pieza requieren un mínimo de una hora (depende de la complejidad de la propia pieza).

Superficie

La calidad de la superficie se corresponde con la calidad habitual de las superficies fresadas.

Tipos/complejidad de la forma

La única limitación de la forma la imponen el archivo CAD y la herramienta (o herramientas) de corte, aunque las formas extremadamente complejas sólo se pueden

conseguir mediante un fresado de cinco ejes (es decir, con una fresa de corte que se mueva a lo largo de cinco trayectorias). Además, para labrar rebajes en el contorno externo de la pieza hacen falta insertos especiales en el molde o piezas de silicona.

Tamaño

La escala de las piezas obtenidas en una máquina estándar es de 250 por 250 por 150 milímetros.

Tolerancias

Dependen de la precisión de la máquina. Suelen ser de unas 10 micras.

Materiales relevantes

Una resina de dos componentes.

Productos habituales

Piezas de formas complejas con superficies externas de gran tolerancia e internas de tolerancia baja. Este proceso resulta especialmente útil para el prototipado rápido de carcasas de teléfono móvil, cámaras, piezas de automóvil y accesorios eléctricos e informáticos.

Métodos similares

El fresado convencional (véase pág. 14) y los métodos de vaciado. Otras técnicas de prototipado, entre ellas la estereolitografía (véase pág. 218).

Información complementaria

www.fraunhofer.de



- Permite combinar la fabricación automatizada con la producción de perfiles específicos.
- Eficacia en tiempo y costes.
- Acabado de gran calidad.

- Es un método ofrecido por muy pocos fabricantes.

6: Técnica compleja

Piezas con formas y superficies complejas

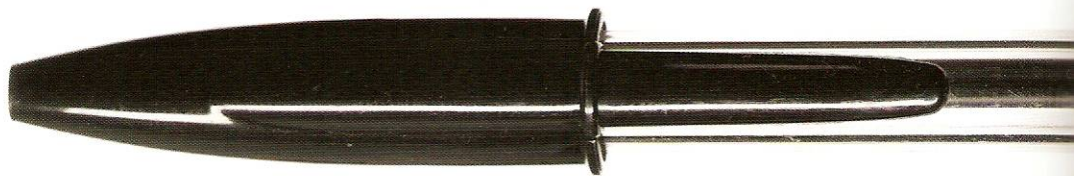
Este grupo de procesos puede describirse como de «conformado en estado plástico» debido a la condición blanda y maleable, así como a la habitualmente alta temperatura, en que se encuentran los materiales en el momento de ser moldeados. Gracias a estos métodos de producción se ha disparado el número de productos baratos de plástico moldeado que nos rodean por todas partes. Sin embargo, el problema de conseguir esta complejidad geométrica manteniendo los costes unitarios bajos se contradice con la fuerte inversión de maquinaria que se necesita. En el presente capítulo aparecen muchos de los métodos establecidos de fabricación en masa con volúmenes de producción altos: así, por ejemplo, el moldeo por inyección en los plásticos, y la fundición en matriz para el caso de los metales. También se analizan en las páginas siguientes los procesos que permiten añadir materiales de acabado a estas formas complejas.

nicas ejas

178	Moldeo por inyección
181	Moldeo por inyección-reacción
183	Moldeo por inyección con gas
185	Moldeo con inserto
188	Decoración en molde
190	Sobremoldeo
192	Moldeo por inyección de metales (MIM)
195	Fundición en matriz por inyección de alta presión
198	Fundición por revestimiento
202	Fundición en arena
205	Prensado del vidrio
208	Vaciado a presión
210	Procesado viscoplástico de cerámicas (VPP)

Moldeo por inyección

incluye la tecnología de inyección de agua (WIT)



¿Es el moldeo por inyección la madre de todas las técnicas de conformado plástico? Se trata del proceso que nos permite transformar el plástico en un sinnúmero de embalajes, juguetes y carcasas de componentes electrónicos. Quizás se refería el filósofo francés Roland Barthes a un molde de inyección cuando en su obra *Mitologías* (1957) describió «... una máquina dotada de una forma ideal, tabulada y rectangular (una forma que sirve para sugerir el secreto de un itinerario) extrae sin esfuerzo un montón de cristales verdosos, receptáculos relucientes y ondulados donde se clasificarán las prendas de un vestidor. En un extremo, la materia prima y telúrica; en el otro, el artefacto humano ya acabado, que apenas supervisa un operario con una gorra, mitad dios, mitad autómatas».

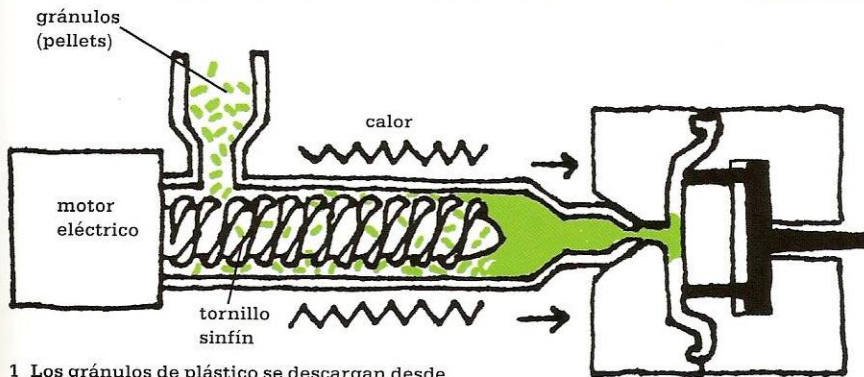
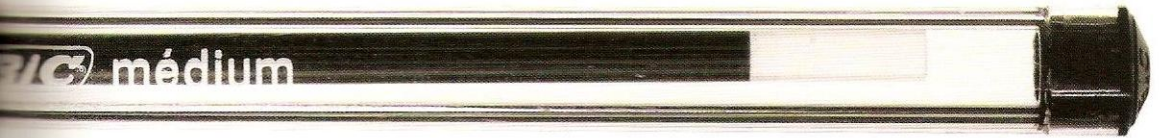
El moldeo por inyección emplea gránulos de plástico que se introducen desde una tolva en un cilindro caliente en cuyo interior hay un sinfín. El sinfín transporta el plástico caliente, lo va fundiendo poco a poco y, finalmente, lo inyecta a gran presión en una serie de compuertas y canales, que van llenando de polímero un molde de acero

refrigerado por agua. Una vez que la pieza ha solidificado bajo presión, unas barras expulsan del molde el producto final.

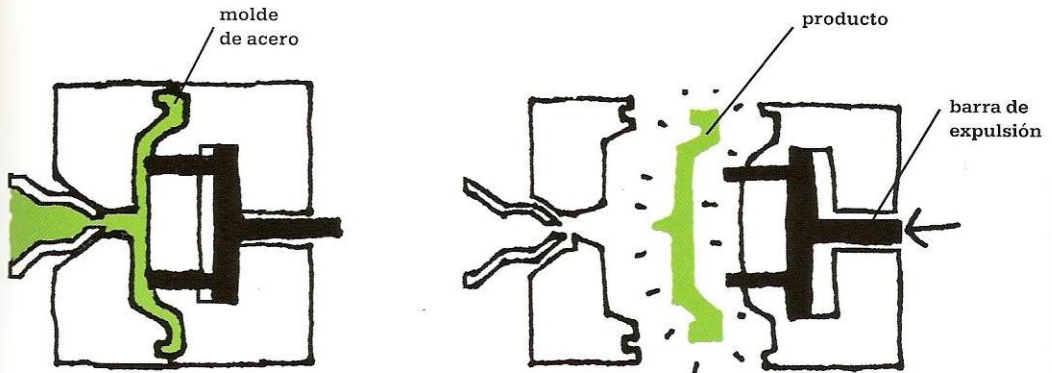
La tecnología de inyección de agua (WIT), también llamada moldeo por inyección asistido por agua, es una técnica relativamente nueva que promete aportar varias ventajas con respecto al moldeo por inyección convencional y al moldeo por inyección con gas (véase pág. 183). Se basa en diversas variaciones que, o bien emplean la inyección de agua para apisonar la colada (el polímero) contra el interior del molde, o bien se sirven de dicha inyección para obligar al polímero hacia fuera —hacia las paredes del molde— para crear piezas huecas. El empleo del agua elimina algunos de los problemas que se asocian al moldeo mediante inyección asistido por gas, como la migración del propio gas a los plásticos. Además, y debido a que el agua no se puede comprimir, se genera más presión de la que puede producir el gas, lo que supone varias ventajas en lo tocante a la complejidad y acabado de las piezas finales. También pueden conseguirse tiempos de ciclo más rápidos debido al efecto refrigerante del agua.

Producto	bolígrafo BIC® Cristal®
Diseñador	Marcel Bich
Materiales	poliestireno (caña) y polipropileno (tapón y capuchón)
Fabricante	BIC
País	Francia
Fecha	1950

Cada día se venden en el mundo catorce millones de bolígrafos BIC. Todos los elementos de este icónico producto, salvo la carga y la punta, están fabricados mediante moldeo por inyección.



1 Los gránulos de plástico se descargan desde una tolva en el interior de un cilindro caliente.



2 El sinfín inyecta el polímero en compuertas y canales que van cargando el molde de acero donde se forma el producto.

3 La máquina se abre para proceder, mediante una serie de barras o clavijas, a la expulsión del producto.



Volúmenes de producción

Es posible encontrar fabricantes modestos que emplean este proceso para manufacturar productos simples con producciones de 5.000 unidades o menos. Lo normal, sin embargo, es que la cantidad mínima se estime en 10.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

El precio unitario es muy bajo, pero hay que tener en cuenta los altos costes de mecanizado, que pueden alcanzar muchas decenas de miles de euros.

Velocidad

Los tiempos de ciclo, variables, dependen del tipo de material, del espesor de la pared y de la geometría de la pieza. Por ejemplo, los ciclos más rápidos –entre 5 y 10 segundos– los encontramos en la fabricación de tapones de botella sencillos. Con piezas más complejas es frecuente una velocidad de entre 30 y 40 segundos.

Superficie

Viene determinada por el molde de acero y puede oscilar entre la textura electroerosionada hasta la muy esmaltada. Hay que tener en cuenta la ubicación de las barras de expulsión en el molde cuando se diseña la pieza, ya que dejan unas pequeñas indentaciones circulares. Tampoco hay que olvidar las líneas divisorias en las que convergen diversas partes del molde.

Tipos/complejidad de la forma

En volúmenes de producción muy grandes, el moldeo por inyección se puede usar para conformar piezas muy complejas. Sin embargo, características como los rebajes, las variaciones en el espesor de la pared, los insertos y las roscas encarecerán

sustancialmente el coste de los equipos. Por lo general, el moldeo por inyección se adecua muy bien a las secciones de pared finas.

Tamaño

El moldeo por microinyección es un subtipo especializado de esta técnica, y algunos fabricantes están especializados en la producción de piezas de no más de 1 milímetro de tamaño. En el caso de productos grandes –sillas de jardín, por ejemplo– merece la pena sopesar las ventajas del moldeo por inyección con gas (véase pág. 183) y, si se precisan paredes gruesas, las del moldeo por inyección-reacción (véase pág. 181).

Tolerancias

± 0,1 milímetros.

Materiales relevantes

Se emplea sobre todo con termoplásticos, pero también se pueden usar termofraguados y elastómeros.

Productos habituales

Es imposible enumerar una lista de aplicaciones más típicas del moldeo por inyección al tratarse de una técnica empleada en la fabricación de un sinfín de productos, desde envases de caramelos y dulces (las cajitas de los tic tac™ de menta, por ejemplo) hasta implantes médicos.

Métodos similares

Con metales, el proceso equivalente es el moldeo por inyección de metales (MIM) (véase pág. 192) o la fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195).

Información complementaria

www.bpf.co.uk

www.injection-molding-resource.org



- **Enormemente versátil por su capacidad de moldear formas distintas.**
- **Sistema de producción muy automatizado.**
- **Piezas de gran eficacia en términos de costes.**



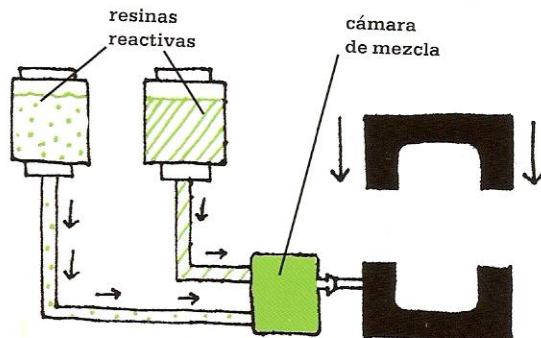
- **Implica una inversión cuantiosa y unas producciones muy grandes.**
- **Puede conllevar tiempos de entrega prolongados.**

Moldeo por inyección-reacción

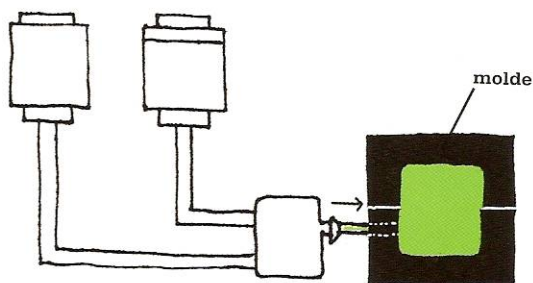
con R-RIM y S-RIM

El moldeo por inyección-reacción (se suele designar mediante las siglas inglesas RIM) es un proceso empleado en la fabricación de componentes estructurales de espuma. A diferencia del moldeo por inyección convencional (véase pág. 178), que utiliza gránulos de material como punto de partida, la técnica RIM arranca con la introducción de dos resinas líquidas termofraguantes y reactivas en una cámara de mezcla. Seguidamente, y a través de una boquilla, se inyectan estas resinas en el molde, donde una reacción química exotérmica produce una capa lisa autoformante que recubre el núcleo de espuma. Dependiendo de la formulación de la resina, las piezas fabricadas mediante esta técnica pueden ser espumas blandas o productos sólidos de gran rigidez.

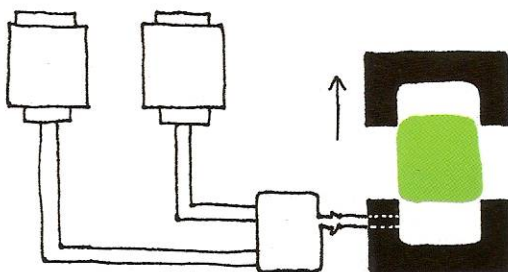
Se pueden fabricar materiales compuestos (composites) introduciendo en la mezcla fibras largas o cortas al objeto de añadir un refuerzo. Este método de producción se puede subdividir en dos categorías: el moldeo por inyección-reacción reforzada (R-RIM) y el moldeo por inyección-reacción estructural (S-RIM).



1 Se introduce una combinación de dos resinas reactivas en una cámara de mezcla.



2 Desde esta cámara, las resinas se transfieren al molde, donde una reacción química exotérmica produce un revestimiento liso que envuelve el núcleo de espuma del producto final.



3 La pieza curada se retira del molde.



Volúmenes de producción

Aunque es un proceso que se adapta a volúmenes de producción altos, gracias a que permite utilizar moldes baratos y de baja resistencia, también es acertado orientarlo a las producciones pequeñas.

Precio unitario frente a inversión de capital

Es un proceso de baja presión, y los costes de equipamiento son bajos en relación con los del moldeo por inyección convencional (véase pág. 178). Sin embargo, los costes de montaje son elevados, por lo que hay que producir muchas unidades para conseguir una buena rentabilidad.

Velocidad

No es un proceso rápido, a diferencia del moldeo por inyección convencional. Los tiempos de ciclo son bastante más largos y, dependiendo siempre del tamaño y la complejidad de la pieza, la producción de un componente individual puede requerir varios minutos, en lugar de segundos.

Superficie

Las espumas fabricadas con este método son «autorrevestibles», de manera que a veces forman una costra de calidad parecida a la que se genera en la técnica estándar del moldeo por inyección mientras preservan el núcleo de espuma.

Tipos/complejidad de la forma

Se pueden crear formas sólidas de gran tamaño y complejidad y producir en el mismo objeto variaciones en el espesor de

la pared. La técnica RIM suele proporcionar espesores considerables: unos 8 milímetros.

Tamaño

Este proceso resulta adecuado para la producción de objetos de gran tamaño (hasta 2 metros de longitud).

Tolerancias

Tolerancias altas

Materiales relevantes

El moldeo por inyección-reacción se suele usar para conformar espumas de poliuretano de gran densidad. Otros materiales frecuentes son los fenólicos, el nailon 6, el poliéster y las resinas epóxicas.

Productos habituales

La técnica RIM produce grandes piezas de espuma moldeada, tanto rígidas como flexibles, que se emplean en la fabricación de productos como paragolpes y guarnicionado para el interior de automóviles, palés industriales y paneles para puertas de frigoríficos.

Métodos similares

Similares son el moldeo por inyección (véase pág. 178) y el moldeo por transferencia (véase pág. 158). También lo es el moldeo por inyección con gas (véase pág. 183), que permite fabricar piezas complejas, grandes y ligeras, pero no se adapta al trabajo con espumas.

Información complementaria

www.pmahome.org

www.rimmolding.com

www.plasticparts.org



- Permite diversos grosores de pared en una misma pieza.
- Debido a que tanto las presiones como las temperaturas que requiere el proceso son bajas, los costes de mecanizado pueden ser reducidos en comparación con otros métodos para el conformado de plásticos con altos volúmenes de producción.
- Produce piezas con buena relación resistencia-peso.
- Sirve para fabricar piezas grandes.



- Para las piezas pequeñas hace falta un molde de cavidad múltiple.

Moldeo por inyección con gas

En el moldeo por inyección convencional, los materiales termoplásticos son calentados e inyectados en un molde (véase pág. 178). Unos canales situados en el propio molde refrigeran la pieza de plástico antes de su extracción. Durante el enfriado, la pieza merma y se separa de las paredes del molde, siendo necesaria, para compensar este fenómeno, la inyección de material adicional.

Una alternativa a este método tan difundido consiste en inyectar gas –por lo general nitrógeno– en la cavidad del molde cuando el plástico se encuentra aún en estado fundido. Esta fuerza interna contrarresta la contracción del material, al inflar el producto y obligarlo a permanecer en contacto con la superficie del molde hasta que se produce la solidificación y se obtiene una pieza con secciones huecas o cavidades.

Existen dos tipos de moldeo mediante inyección asistida por gas: el moldeo interno y el externo. El primero es el más utilizado, mientras que el método externo es empleado cuando se hace necesaria una mayor definición

en la pieza o una mayor extensión de la superficie. Esto se consigue inyectando una capa de gas muy fina entre una superficie del plástico y la cavidad del molde aneja.

Aprovechándose de la reducción de peso que genera este método, el fabricante italiano Magis ha creado una gama de mobiliario que implica una redefinición de las reglas que rigen el diseño de productos de plástico de gran tamaño. Esas sillas de terraza baratas que se ven por todas partes y se compran en las tiendas de bricolaje y jardín han sido fabricadas mediante moldeo por inyección. Tienen una sección transversal muy delgada, y al mismo tiempo una estructura estable y robusta. Por contraste, las sillas de la gama Magis, diseñada por Jasper Morrison, dan la impresión de ser sólidas, y sin embargo por dentro están huecas.

Producto	silla de jardín Air Chair
Diseñador	Jasper Morrison
Materiales	polipropileno con refuerzo de fibra de vidrio
Fabricante	Magis
País	Italia
Fecha	1999

Aunque lo suficientemente robusta como para soportar una carga considerable, esta silla apilable es ligera, hueca y económica: todas ellas son ventajas proporcionadas por el moldeo mediante inyección con gas.





Volúmenes de producción

Proceso empleado exclusivamente para altos volúmenes de producción.

Precio unitario frente a inversión de capital

Al igual que el moldeo por inyección convencional (véase pág. 178), conjuga costes unitarios bajos con altas inversiones.

Velocidad

Dado que el material se inyecta sólo una vez y se enfría más deprisa de lo que lo haría en el moldeo por inyección convencional, se reducen los tiempos de ciclo.

Superficie

Una de las ventajas cruciales de esta forma de moldeo por inyección consiste en un acabado superior. Durante el proceso estándar sin gas, se produce fatiga a lo largo de la línea de flujo en el interior del molde, lo que genera deformaciones. La introducción de gas ayuda a distribuir la presión de un modo regular y a eliminar la tensión y las líneas de flujo en el plástico en puntos determinados.

Tipos/complejidad de la forma

El moldeo por inyección es uno de los mejores métodos que existen para crear formas complejas, y el moldeo por inyección con gas no es una excepción. Según lo que se quiera invertir en bienes de equipo y el número de piezas en el molde, es posible conseguir algunas formas de gran complejidad.

Tamaño

Desde carcasas para pequeños componentes electrónicos a grandes piezas de mobiliario.

Tolerancias

Al ser mayor el control del material y al haber menos contracción del mismo que en el moldeo por inyección convencional, las tolerancias son superiores.

Materiales relevantes

La mayoría de los termoplásticos, incluidos el poliestireno de alto impacto, el polipropileno con carga de talco, el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), el PVC rígido y el nailon.

Productos habituales

Prácticamente todas las piezas moldeables se pueden fabricar por este método de inyección con gas. La variante externa del proceso se suele utilizar para hacer productos con superficies grandes, tales como paneles de carrocería destinados a automóviles, puertas para frigorífico y mobiliario de jardín en plástico de gama alta.

Métodos similares

Moldeo por inyección (véase pág. 178) y moldeo por inyección-reacción (RIM) (véase pág. 181).

Información complementaria

www.magisdesign.com

www.gasinyection.com



- Permite fabricar productos con espesores de pared variables.
- Se reducen los tiempos de ciclo.
- Productos más ligeros.
- Menos marcas de asentamiento que con el moldeo por inyección convencional (véase pág. 178).
- Consume un 15 por ciento menos de energía que el moldeo por inyección convencional.

- Debido a la introducción de parámetros adicionales –el manejo del gas, la regulación de la presión y el enfriado– hay que anticiparse a determinados problemas potenciales. Se requiere experiencia y, con frecuencia, un dispositivo de producción bastante complicado.

Moldeo con inserto

El moldeo con inserto es una variante del moldeo de multicomponentes (o moldeo de dos ciclos), un método que sirve para combinar distintos plásticos en el transcurso de un único proceso de fabricación. El moldeo con inserto (o de inserción) se refiere a la fase del proceso en la que se insertan piezas (hechas en materiales diversos como metal, cerámica y plástico) con el fin de aumentar la resistencia del objeto

de plástico. El elemento dominante de este sistema de producción es el moldeo por inyección (véase pág. 178), y los insertos se colocan en el molde antes de la inyección de los plásticos.

El moldeo con inserto de multicomponentes presenta dos variantes. En la primera –conocida también como transferencia rotativa– se inyectan dos materiales en la misma cavidad de un molde que previamente se



**destornillador
DynaGrip Pro de
la marca Stanley**

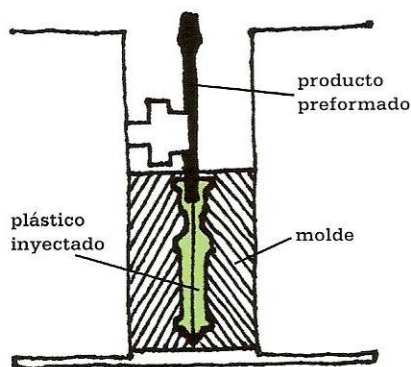
Producto	diseño del propio fabricante
Diseñador	el mango lleva cuatro capas:
Materiales	una de nailon, seguida de dos de polipropileno de distintos colores. La última es una empuñadura de elastómero termoplástico (TPE)
Fabricante	Stanley Tools
País	Reino Unido
Fecha	1998

Este destornillador consta de cuatro capas de plástico moldeadas por encima del vástago de metal: el primer moldeo, de color azul, se aprecia en el extremo del mango. La zona de color negro brillante que encaja en la palma de la mano es la segunda capa. Los elementos gráficos de color amarillo constituyen la tercera de estas capas. Finalmente, la empuñadura negra.

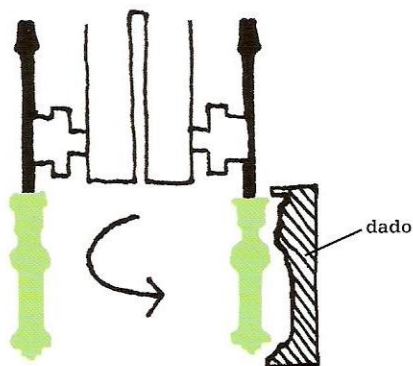
ha sometido a rotación. El segundo método, al que se suele denominar transferencia con robot, conlleva la fabricación previa de un producto que sólo después es transferido a otro molde para la adición de un segundo material.

Existen asimismo otras formas de moldeo por inserción que, en lugar de utilizar la técnica de la inyección, recurren a procedimientos mediante compresión (véase pág. 156), contacto (véase pág. 134) o rotación (véase pág. 119).

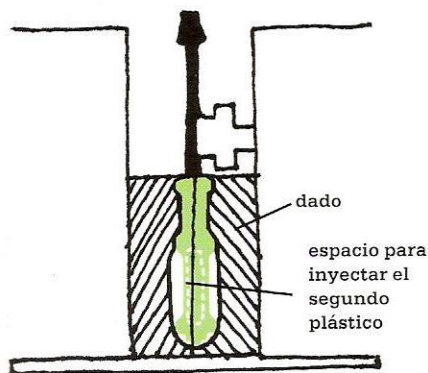
Método de la transferencia con robot



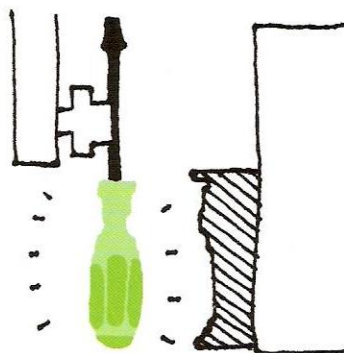
1 Se inyecta plástico por encima de un producto preformado, en este caso el vástago metálico de un destornillador.



2 La pieza de plástico moldeada (junto con el vástago) se retira por medio de unos brazos de robot y se transfiere a un dado independiente.



3 En este punto, se inyecta un segundo plástico por encima del moldeado original. Este proceso se puede repetir tantas veces como sea necesario para incorporar el número de materiales deseado.



4 El producto acabado se extrae del molde.



Volúmenes de producción

Proceso orientado a los grandes volúmenes de producción, por encima de las 100.000 unidades.

Precio unitario frente a inversión de capital

Es un método económico si se lo compara con el montaje manual de los diferentes materiales.

Velocidad

Depende del producto. Los productos que tienen paredes muy finas se enfrían muy deprisa, pero también afectan otros factores como el tipo de plástico y el diseño general del producto.

Superficie

Depende del proceso de moldeo utilizado, pero es comparable a la que se consigue con el moldeo por inyección (véase pág. 178). No obstante, en el moldeo con inserto se pueden introducir materiales de superficie al objeto de mejorar el acabado: por ejemplo, una empuñadura adicional en el mango de un cepillo de dientes.

Tipos/complejidad de la forma

Dado que esta técnica se basa en el moldeo por inyección, hay que tener presentes las posibilidades y restricciones de este último método, aunque ahora la forma del propio inserto dictará en parte qué formas se pueden conseguir.

Tamaño

Este proceso permite crear productos de tamaños muy distintos en función del tipo de moldeo por inyección utilizado.

Tolerancias

Pueden ser muy elevadas, ya que el moldeo por inyección consigue niveles de $\pm 0,1$ milímetros.

Materiales relevantes

Cualquier combinación de materiales, como por ejemplo los polímeros termoplásticos y termofraguados. Según de qué combinación estemos hablando, será más o menos posible realizar una unión química de las capas. No obstante, los termofraguados y los elastómeros termoplásticos (TPE) no suelen prestarse a la unión química.

Productos habituales

Una de las características fundamentales que tiene la combinación de materiales es la de permitirnos conjugar múltiples funciones en un único producto. Así, por ejemplo, es posible conseguir articulaciones móviles y detalles ornamentales por encima de un núcleo flexible al tiempo que robusto, eliminando costes adicionales de montaje. Entre los productos más típicos de este proceso podemos citar cepillos de dientes, destornilladores, maquinillas de afeitar y carcasas (por ejemplo, para herramientas eléctricas con empuñaduras de caucho).

Métodos similares

La decoración en molde (véase pág. 188).

Información complementaria

www.engel.info

www.bpf.co.uk

www.mckechnie.co.uk

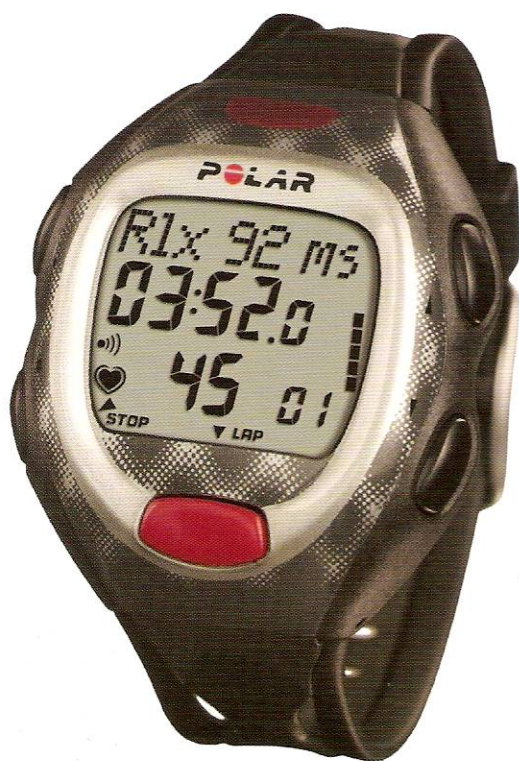


- Permite incorporar en una única pieza toda una gama de propiedades físicas y táctiles diversas.
- Se reducen los costes de mano de obra derivados del montaje.
- Sirve para añadir un amplio espectro de funciones suplementarias.

- Los costes de mecanizado son altos.
- Requiere conocimientos avanzados sobre cómo combinar materiales diversos y sobre ulteriores cuestiones de diseño relativas, por ejemplo, a contracciones y fatigas de materiales superpuestos.

Decoración en molde

Como indica el propio nombre, no nos encontramos ante un método de producción en sentido estricto: la decoración en molde se desarrolló más bien como una fórmula económica de añadir superficies decorativas a las



Producto	pulsómetro Polar 8810i
Materiales	película de policarbonato Autoflex Hiform M
Fabricante	Polar
País	Reino Unido
Fecha	2000

La decoración en molde se aprecia en la textura del frontal del pulsómetro, al que además se ha añadido un film autorreparable que arregla pequeños rayones.

piezas de plástico fabricadas mediante moldeo por inyección. Se trata de una alternativa que permite eliminar la necesidad de efectuar impresiones directamente sobre una pieza por medio de un proceso de postconformado independiente. Esta técnica de fabricación tiene cada día mayor importancia debido a la expansión del mercado de productos electrónicos, que implican más elementos gráficos para teclados, nuevas gamas de artículos y personalización de aparatos electrónicos portátiles.

El proceso se inicia con la impresión de un elemento gráfico en una película o film de policarbonato o poliéster. Según cual sea la forma del producto que se quiere moldear, dicha película se introduce en el molde en forma de cinta (o, si la pieza es curva, se corta y se inserta individualmente). El proceso se adapta también a formas con curvas compuestas, si bien en este último caso hay que moldear previamente el film para que adopte el perfil necesario antes de insertarlo en el molde.

Una de las utilidades de la decoración en molde consiste en que sustituye al rociado o moldeo de piezas en colores específicos. En efecto, ésta es una forma de aplicar color a los productos para garantizar la consistencia cromática de los objetos moldeados en materiales diferentes, una situación en la que resulta difícil conseguir coincidencias exactas de colores. Un ejemplo de cómo se aplica este proceso lo encontramos en las molduras delantera y trasera de un teléfono móvil, cuyo dorso ha sido moldeado en un material distinto del de la parte frontal.



Volúmenes de producción

Orientado a la producción en masa.

Precio unitario frente a inversión de capital

Es un proceso muy rentable si se compara con el uso de procesos independientes para pintar o rociar piezas.

Velocidad

La inserción de la película tiene un leve efecto negativo sobre los tiempos de ciclo globales, aunque se puede automatizar este paso y, en todo caso, ha de considerarse en relación al tiempo que sería necesario para decorar una pieza por otros medios –por ejemplo, pintándola–.

Superficie

Se pueden usar distintas películas para producir acabados diversos, desde lo funcional hasta lo más decorativo.

Tipos/complejidad de la forma

La decoración en molde se puede aplicar tanto a las curvas simples como a las curvas compuestas más complejas.

Tamaño

La misma que la del moldeo por inyección (véase pág. 178). Es posible fabricar piezas muy pequeñas, pero entonces las formas han de ser muy simples.

Tolerancias

No se aplica.

Materiales relevantes

Policarbonato, acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), polimetilmetacrilato (PMMA), poliestireno y polipropileno.

Productos habituales

La decoración en molde no se limita a elementos gráficos de texto, sino que también se usa para producir color en los componentes moldeados y para añadir diseños en las superficies. Una de las películas más interesantes (aunque invisibles) que se pueden aplicar mediante esta técnica es una forma de revestimiento «autorreparable». Se trata de una capa protectora que ayuda a conservar relucientes y sin arañazos los artículos de frecuente manejo manual, como por ejemplo las carcasas de teléfono móvil. Otras aplicaciones son las cubiertas decorativas para móviles, frontales de máquinas expendedoras, relojes digitales, teclados y guarnicionado para interior de automóviles, por citar sólo unos pocos ejemplos.

Métodos similares

La decoración por sobremoldeo (véase pág. 190) es un proceso parecido, aunque conlleva la aplicación no tanto de películas como de materiales sobre una pieza moldeada. El revestimiento por sublimación es otra alternativa, aunque se emplea como proceso secundario tras el moldeo y se orienta en especial a las aplicaciones de ingeniería de polímeros como el nailon.

Información complementaria

www.autotype.com.sg

www.filminsertmoulding.com



- Técnica rentable a la hora de individualizar piezas y adaptarlas a usuarios particulares sin necesidad de un nuevo maquinado.
- Permite introducir prácticamente cualquier color, imagen y hasta textura de superficie, que queda así fijada al producto como una piel.
- Sirve para producciones grandes y pequeñas.
- La técnica del film permite obtener superficies resistentes a los arañazos, los productos químicos y los abrasivos.

- Incurre en costes de moldeo adicionales, al ser necesario un molde complejo capaz de acomodar la lámina o film.

Sobremoldeo

La decoración por sobremoldeo no es realmente un método de producción en sentido estricto, sino más bien una extensión del moldeo por inyección convencional (véase pág. 178) y una parte de un proceso en dos fases. Lo interesante de esta técnica es que permite conferir a los productos plásticos un aspecto casi artesano, y ello se debe al inteligente modo en que hace que un material distinto recubra el plástico del molde.

Si nos encontráramos con una carcasa de teléfono móvil, por ejemplo, cuya superficie estuviera recubierta por un trozo de material textil, nos parecería una combinación interesante y supondríamos que la adición del tejido

se habría hecho mediante un proceso totalmente independiente: un operario habría fijado la tela sobre el producto plástico de modo manual. Si así fuera, se trataría de una operación cara que exigiría bastante mano de obra. Sin embargo, la firma Inclosia Solutions –una filial de Dow Chemical– ha inventado una tecnología capaz de combinar el plástico con toda una gama de materiales durante el propio moldeo, eliminando así la necesidad de cualquier tipo de acabado secundario.

La ventaja de este modo de fabricación es que facilita a los diseñadores una serie de materiales, superficies y acabados nuevos que desafían las concepciones tradicionales del moldeo de plásticos. En lugar de que todos los productos electrónicos compartan la misma envoltura plástica, ahora es posible que estos artículos tengan superficies cálidas y táctiles más cercanas a las de las telas o materiales artesanos como la madera. El proceso nos permite enriquecer nuestra percepción de los



Producto	ordenador portátil E-Go
Diseñador	Marcel van Galen
Materiales	tela sobre plástico moldeado
Fabricante	Tulip
País	Holanda
Fecha	2005

La carcasa interna de plástico moldeado de este ordenador portátil se puede sobremoldear con toda una gama de materiales distintos para acomodarse a la demanda de diversos grupos de consumidores. Estas «pieles» de cuero y tela permiten comercializar artículos electrónicos del mismo modo que otros productos más orientados a la moda, como puedan ser los bolsos de mano.

productos industriales, traspasando así las fronteras actuales de nuestro entendimiento de los plásticos fabricados en masa como objetos siempre idénticos.

De este modo, resulta factible «vestir» los productos que llevamos e integrarlos mejor en nuestro estilo de vestimenta, mobiliario y complementos.



Volúmenes de producción

Proceso para grandes volúmenes de producción.

Precio unitario frente a inversión de capital

El precio unitario de los productos es superior al del moldeo por inyección convencional (véase pág. 178). Las inversiones en equipamiento son también más altas por la necesidad de incorporar un segundo material.

Velocidad

Como se trata de un proceso en dos pasos que implica el conformado de un material por encima de un producto ya preformado, resulta más lento que algunos métodos parecidos para el moldeo de multicomponentes (es decir, en dos ciclos).

Superficie

La característica fundamental de este proceso es que permite la aplicación de segundas envolturas o «pieles» encima del plástico moldeado. De ahí que la superficie venga determinada por el material elegido para este revestimiento.

Tipos/complejidad de la forma

Debido a la adición del material secundario, el sobremoldeo se adapta mejor a superficies planas o con profundidad de embutición.

Tamaño

El tamaño estándar más grande viene a ser de unos 300 por 300 milímetros.

Tolerancias

Dependen del grado de contracción de los distintos materiales.

Materiales relevantes

Este sobremoldeo decorativo puede hacerse con diversos materiales tales como chapa de aluminio, cuero, tela y finas láminas de madera.

Productos habituales

Esta técnica se ha utilizado en la fabricación de una gama de productos que podríamos incluir en la categoría de tecnología móvil personal: teléfonos móviles, PDA y ordenadores portátiles.

Métodos similares

La decoración en molde (véase pág. 188) y el moldeo con inserto (véase pág. 185).

Información complementaria

www.dow.com/inclosia

www.filminsertmoulding.com



- Método automatizado para recubrir productos de plástico moldeado con un segundo material suave o decorativo.
- Alternativa rentable al montaje a mano.
- Compatible con la mayoría de los termoplásticos y elastómeros de uso industrial.

- Aunque el sobremoldeo tiene ventajas como técnica de decoración de superficies, se trata de un proceso en dos fases, lo que incrementa el precio unitario del producto final.
- Cuando se utilizan materiales que no han sido ensayados previamente, pueden hacer falta numerosos tanteos.

Moldeo por inyección de metales (MIM)

Una variante del moldeo por inyección convencional (que se usa en plásticos, véase pág. 178) es el moldeo mediante inyección de metales (MIM). Se trata de un nuevo método para producir en grandes cantidades formas complejas a partir de metales con puntos de fusión elevados (por ejemplo, el acero para maquinaria), metales que no se prestan a la fundición en matriz por inyección de

alta presión (véase pág. 195). El sistema, sin embargo, tiene la restricción importante de que los polvos de metal usados como materia prima han de ser muy finos.

El método MIM conlleva más procesos que el moldeo de plásticos por inyección, debido a la necesidad de añadir al metal factores ligantes. Cada una de las empresas que se dedican



Producto	piezas de ingeniería [la punta de bolígrafo sólo refleja la escala de los objetos]
Materiales	acero de baja aleación y acero inoxidable
Fabricante	Metal Injection Mouldings Ltd., empresa integrada en PI Castings
País	Reino Unido
Fecha	fabricados por primera vez en el Reino Unido en 1989

Esta gama de pequeñas piezas de ingeniería complejas es característica del tipo de productos fabricados mediante MIM. Se trata de una tecnología que nos permite crear productos metálicos sólidos y precisos a partir de metales cuyos puntos de fusión son elevados. No resulta fácil producir estos objetos mediante fundición. Por lo demás, su resistencia y robustez suponen varias ventajas con respecto a otras formas de producción de metales.

a esta tecnología tiene su propio y único sistema de ligantes, aunque lo normal es que estos últimos, que pueden representar hasta el 50 por ciento del compuesto, estén hechos a base de

diversos materiales, entre los que se incluyen la cera y varios tipos de plásticos. Los ligantes se mezclan con los polvos metálicos para producir el compuesto sometido a moldeo.



Volúmenes de producción

Para justificar los costes de montaje y equipamiento son necesarios grandes volúmenes de producción (un mínimo de 10.000 unidades).

Precio unitario frente a inversión de capital

La inversión de capital es elevada, pero los costes unitarios son muy bajos.

Velocidad

La propia inyección del material se parece a la del moldeo por inyección convencional que se aplica a materiales plásticos (véase pág. 178), pero el sinterizado y la extracción del ligante incrementan el tiempo y los costes de este proceso.

Superficie

Ésta es una técnica que proporciona un acabado excelente y que además da la posibilidad de producir detalles finos.

Tipos/complejidad de la forma

Sirve para fabricar formas muy complejas parecidas a las que se pueden obtener mediante el moldeo convencional de plásticos por inyección. Dichas formas se pueden realzar además mediante el uso de moldes multicavidad.

Tamaño

En la actualidad, la técnica MIM sólo sirve para fabricar piezas pequeñas, que se integran luego en productos más grandes.

Tolerancias

Este proceso puede alcanzar una tolerancia general de $\pm 0,10$ milímetros.

Materiales relevantes

Técnica económica para la fabricación de grandes cantidades de productos complejos con diversos acabados de superficie. Se puede aplicar numerosos metales: bronce, acero inoxidable, aceros de baja aleación, aceros para maquinaria, aleaciones magnéticas y aleaciones de baja expansión térmica.

Productos habituales

Instrumental quirúrgico y dental, componentes de ordenador, piezas de automóvil, carcasas para productos y aparatos electrónicos (teléfonos móviles, ordenadores portátiles, PDAs).

Métodos similares

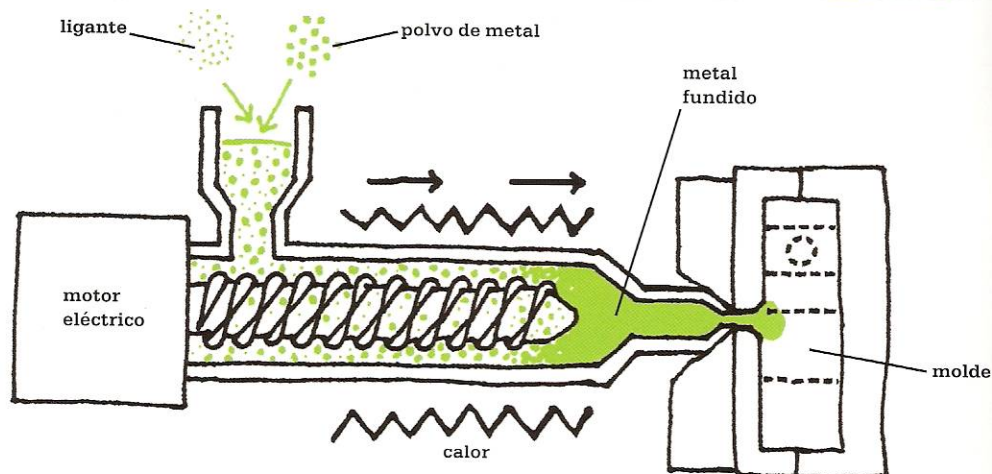
Aunque la fundición en matrices de materiales metálicos (véase pág. 195) es seguramente el método que más se parece al MIM en lo referente a volúmenes de producción y complejidad de formas obtenibles, la diferencia fundamental entre ambos procesos reside en la capacidad que posee este tipo de moldeo por inyección de trabajar con metales cuyos puntos de fusión son elevados, como por ejemplo el acero inoxidable y los aceros de baja aleación.

Información complementaria

www.mimparts.com

www.pi-castings.co.uk

www.mpif.org



1 Se mezclan los ligantes con los polvos metálicos para producir el compuesto que se va a moldear. La mezcla se introduce en la máquina moldeadora-inyectadora para formar un producto «en verde».



2 Una vez moldeada la forma, se retira de las partículas de metal el ligante y se desecha. Este paso se realiza de formas diversas según los fabricantes.



3 Lo que queda se sinteriza para soldar entre sí las partículas metálicas. Esta operación hace que el volumen del producto se contraiga aproximadamente un 20 por ciento.



- Se puede utilizar para conformar aleaciones de alta temperatura.
- Sirve para obtener formas complejas.
- Con grandes cantidades resulta un proceso rentable.
- No se requiere postacabado.
- Las piezas resultantes muestran gran resistencia.



- El tamaño global de las piezas así fabricadas es pequeño.
- Por contraste con el moldeo convencional de plásticos por inyección (véase pág. 178), esta técnica sólo la ofrecen unos pocos fabricantes.

Fundición en matriz por inyección de alta presión

La fundición en matriz por inyección de alta presión es uno de los métodos más económicos para la fabricación de productos metálicos con formas complejas. Se trata del proceso adecuado si lo que se busca es la producción de volúmenes altos con componentes de gran complejidad. En este sentido se asemeja al moldeo por inyección de metales (MIM) (véase pág. 192), aunque



Producto	Lotus Europa de la marca Matchbox
Materiales	zinc
Fabricante	Matchbox
País	Reino Unido
Fecha	1969

Los juguetes de metal fabricados por fundición en matriz forman parte de los recuerdos infantiles de mucha gente. La capacidad que tiene esta técnica de crear detalles de gran finura y complejidad queda reflejada en el texto perfectamente legible que aparece troquelado en los bajos de este cochecito de juguete.

su principal ventaja con respecto a esta última técnica es que se puede usar con metales que posean un punto de fusión bajo y no necesiten sinterizado.

El proceso consiste en verter metal fundido en un depósito donde un émbolo obliga al líquido –sometido a una alta presión– a penetrar en la cavidad de

un molde. La presión se mantiene hasta la solidificación del metal, momento en el que unas barras de expulsión empujan los productos al exterior de la matriz. Como sucede con el moldeo por inyección (véase pág. 178), las matrices de fundición están hechas con dos mitades.



Volúmenes de producción

La fundición en matriz por inyección de alta presión se utiliza exclusivamente para la producción de grandes volúmenes.

Precio unitario frente a inversión de capital

Se obtienen precios unitarios económicos mediante la producción en masa de piezas de gran complejidad, lo que en último término rebaja los costes relativos de un equipamiento que de por sí es caro, pues ha de diseñarse para que pueda soportar la inyección repetida de metal fundido a alta presión.

Velocidad

El método es rápido, aunque lo demora un poco el proceso de rebabado posterior, que se ejecuta por separado.

Superficie

Excelente.

Tipos/complejidad de la forma

Ideal para la producción de piezas metálicas complejas y abiertas, sobre todo si tienen secciones de pared finas. A diferencia del método de la fundición a la cera perdida (véase pág. 198), la fundición en matriz por inyección de alta presión requiere ángulos de inclinación lateral.

Tamaño

El peso máximo para un producto de aluminio viene a ser de unos 45 kilogramos.

Tolerancias

Niveles de tolerancia razonablemente altos, aunque la contracción de los materiales puede ser a veces problemática.

Materiales relevantes

Metales con puntos de fusión bajos como el aluminio y el zinc, que con mucho son los que se emplean con mayor asiduidad. Otros materiales utilizables son el bronce y las aleaciones de magnesio.

Productos habituales

El chasis de diversos artículos electrónicos, tales como ordenadores, cámaras, reproductores de DVD, piezas de muebles y mangos de maquinillas de afeitar en húmedo.

Métodos similares

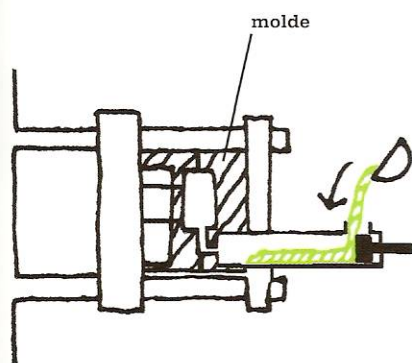
La fundición por revestimiento (véase pág. 198) y la fundición en arena (véase pág. 202), que además permiten el vaciado de piezas más grandes y requieren menos inversión de capital, aunque exigen tolerancias más altas.

La fundición en matriz por gravedad es un proceso bastante más antiguo que se emplea a escala de producción mucho menor que la fundición en matriz por inyección de alta presión.

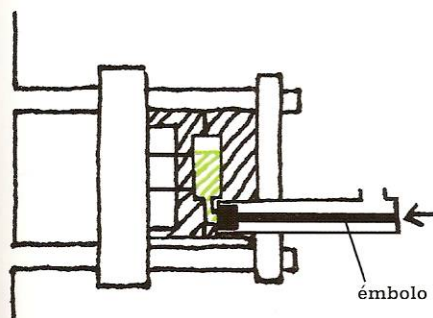
Información complementaria

www.castmetalsfederation.com

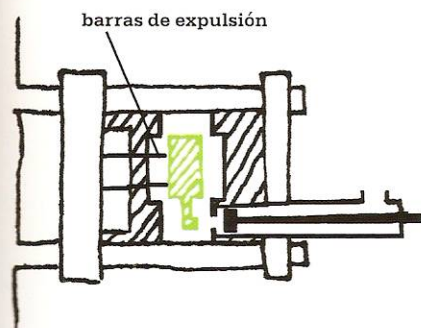
www.diecasting.org



1 Se vierte en un depósito el metal fundido.



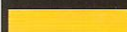
2 Un émbolo somete el líquido a alta presión, obligándolo a penetrar en la cavidad de un molde.



3 Se mantiene la presión hasta que el metal se solidifica, momento en el que unas pequeñas barras o clavijas de expulsión arrojan el producto fuera de la matriz.



- Ideal para la producción de formas complejas.
- Excelente acabado de las superficies.
- Buena precisión dimensional.
- Permite obtener secciones pequeñas y paredes delgadas.
- Excelente consistencia entre piezas.
- Proceso rápido que requiere un mecanizado posterior mínimo.



- La herramienta industrial resulta cara, por lo que el proceso sólo sirve para volúmenes de producción muy altos.
- Las piezas resultantes tienen rebabas.
- No hay garantía de que las piezas posean una gran resistencia estructural.

Fundición por revestimiento TAMBIÉN LLAMADA fundición a la cera perdida

El término «fundición por revestimiento» nace de la noción de que el proceso implica el «revestimiento» de la pieza en un material que luego se sacrifica. Se trata de un método caracterizado por su capacidad de producir formas complejas y por llevarse utilizando desde hace miles de años (está documentado su uso por parte de los antiguos egipcios). En esencia, conlleva la inmersión de una forma fabricada en

cera en el interior de un líquido cerámico que, a su vez, constituye una envoltura lo suficientemente gruesa como para alojar la colada de metal fundido una vez que la cera se ha deshecho. Debido a que el molde de cerámica se rompe para extraer el objeto acabado, es posible labrar en la pieza todo tipo de rebajes y formas complejas de un modo que sería imposible con la utilización de un molde rígido.



patrón o modelo de cera



cáscara de cerámica



producto acabado

figura decorativa para capó
de automóvil «Espíritu del
éxtasis»

Producto	
Diseñador	Charles Robinson
Materiales	acero inoxidable
Fabricante	Polycast Ltd
País	Reino Unido
Fecha	1911

Estas imágenes ilustran las tres fases de la fundición por revestimiento con la que se ha fabricado esta célebre figura. También nos ofrecen una sugerencia inmejorable a propósito de qué método de producción podremos elegir cuando la moda de las figurillas ornamentales vuelva al diseño contemporáneo.

La primera fase del proceso consiste en la fabricación de una matriz o dado (generalmente de aluminio, aunque también se puede usar un polímero) que después pueda utilizarse repetidamente para obtener las réplicas en cera. Se fabrican a continuación patrones múltiples, que se montan en un canal de colada formando una estructura similar a la de un árbol. Este sistema se sumerge entonces en un barro líquido y se deja secar para formar una cáscara dura de

cerámica. La inmersión va repitiendo hasta que se haya acumulado un número de capas suficiente. A continuación se coloca el conjunto en un horno a fin de fundir la cera y poder deshacerse de ella en forma líquida antes de cocer las piezas. Cuando las cáscaras de cerámica han adquirido la resistencia necesaria, se vierte en su interior el metal fundido. Una vez enfriado el bloque, éste se rompe, se desecha la cerámica y se extraen las piezas individuales del árbol.



Volúmenes de producción

Dependiendo de su tamaño, es posible colocar en un árbol varios centenares de piezas pequeñas y fundirlas en una sola colada. Para objetos más grandes resulta necesario un árbol para cada pieza. La fundición por revestimiento permite producciones pequeñas (por debajo del centenar de unidades) y también tiradas de decenas de miles.

Precio unitario frente a inversión de capital

El maquinado es mucho más barato que el que se precisa para la fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195), lo que implica una inversión de capital más pequeña. Según cuál sea el tamaño del producto final, se pueden hacer moldeos múltiples con el mismo árbol, lo que incrementa la rentabilidad del proceso.

Velocidad

La técnica es lenta y requiere completar una serie de pasos con cada producto individual.

Superficie

Buen acabado en superficie, aunque ello depende en buena medida de la propia superficie del patrón.

Tipos/complejidad de la forma

A diferencia de la fundición en matriz por inyección de alta presión, que requiere ángulos de inclinación lateral, los productos fabricados mediante fundición a la cera perdida pueden ser muy complejos desde

el punto de vista formal. Es la ventaja principal que posee este proceso en relación a otros métodos de conformado.

Tamaño

Amplio espectro de dimensiones, que oscilan entre los 5 milímetros de longitud hasta los 500 aproximadamente, o hasta 100 kilogramos de peso.

Tolerancias

Altas.

Materiales relevantes

Una gran variedad de metales ferrosos y no ferrosos.

Productos habituales

Muy numerosas, desde esculturas y estatuas hasta turbinas de gas, mosquetones de marinería, piezas de joyería e instrumental médico. Un ejemplo de gran sofisticación es la figura llamada «Espíritu del éxtasis» que corona el capó de los automóviles Rolls-Royce.

Métodos similares

Fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195), fundición en arena (véase pág. 202) y vaciado centrífugo (véase pág. 143).

Información complementaria

www.plycast.co.uk

www.castmetalfederation.com

www.castingstechnology.com

www.pi-castings.co.uk

www.tms.org

www.maybrey.co.uk



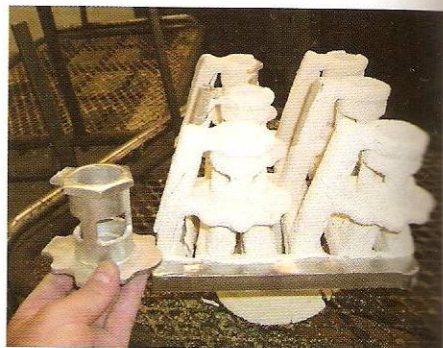
1 Una vez fabricada la matriz, producimos un patrón de cera (a la derecha).



2 Esta imagen, en la que aparece un patrón distinto, muestra un conjunto sencillo de cuatro productos a punto de sumergirse en el barro cerámico.



3 Dispositivo habitual de producción en el que aparecen una serie de productos de cera montados en un canal de colada sencillo antes de su inmersión en el barro cerámico.



4 La cáscara de cerámica rellena de metal (a su lado, para comparar, un producto ya terminado).



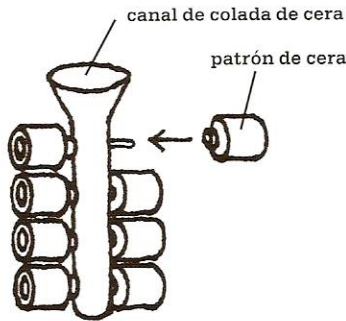
5 Fase en la cual la cerámica seca se retira y se descarta, quedando visible el producto final.



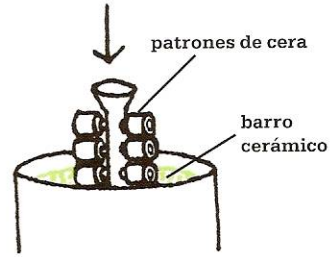
6 La imagen muestra un producto final junto a su modelo original en cera.



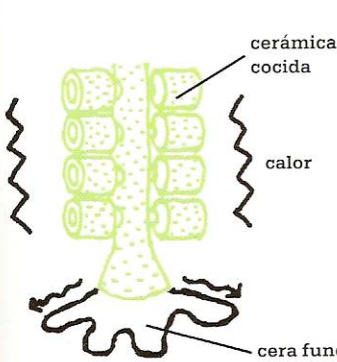
1 Los patrones de cera se fabrican a partir de una matriz de aluminio que se usa repetidas veces para obtener el número necesario de elementos.



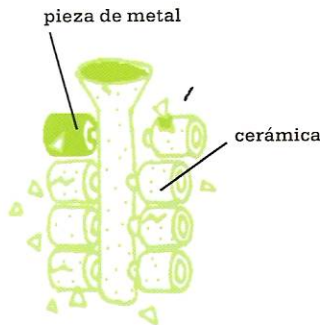
2 Los patrones de cera individuales se montan en un canal en forma de árbol.



3 El árbol ya montado se sumerge en un barro líquido de material cerámico y se seca para formar el revestimiento de cerámica dura. Se repite el proceso hasta que se ha agregado un número suficiente de capas.



4 El árbol se coloca en un horno para fundir la cera y retirarla así en estado líquido antes de proceder a la cocción de la cerámica.



5 El metal fundido se vierte en el interior de las cáscaras de cerámica ya cocidas. Una vez enfriado el conjunto, la cerámica se rompe para poder extraer del árbol que había en su interior las piezas metálicas individuales.



6 El vaciado final.



- Permite moldear formas complejas con núcleos huecos.
- Se elimina peso del producto final gracias a la capacidad que tiene el proceso de conformar interiores huecos.
- Proceso de alta precisión.
- Elimina operaciones de mecanizado posterior.
- Libertad de diseño.



- Conlleva varias fases.
- Algunas plantas de fundición siguen usando en las cáscaras de cerámica ligantes derivados del alcohol, lo que puede suponer una amenaza para el medio ambiente.

Fundición en arena

incluye la fundición por el proceso del silicato- CO_2 y la fundición en cáscara

Una de las principales propiedades de la arena es su carácter refractario. Ello quiere decir que puede soportar altísimas temperaturas y, por ende, alojar en su interior metales fundidos para su posterior vaciado. Existen varias formas de fundición en arena, cuya diferencia estriba fundamentalmente en la cantidad de componentes que se precisa en cada caso. Todas ellas, sin embargo, dependen de un principio muy sencillo: la construcción de un patrón (o duplicado) de la pieza acabada. Este duplicado se encierra en una mezcla compactada de

arena y arcilla, de donde se extrae a continuación, dejando una cavidad en la que se vierte el metal fundido. Además, en el interior de la arena se usan canales y mazarotas que guardan el sobrante de material fundido. Son como agujeros hechos en la arena: el canal de colada permite el vertido del metal líquido, mientras que la mazarota guarda cualquier sobrante del mismo. Se trata de una precaución necesaria, ya que cuando el metal fundido se solidifica, merma su volumen, y es en este punto donde cualquier sobrante de metal es conducido al interior del molde para evitar rechupes en la pieza fundida.

Partiendo de esta base, tenemos varias opciones. Una es el uso de patrones hechos con materiales fungibles –la espuma de poliestireno se evapora al verter el metal–. También se utilizan patrones de madera para la producción de lotes pequeños en plantas de fundición. Por último, podemos automatizar el proceso mediante una técnica que emplea patrones de aluminio y un método de compactación programada.

Otros procedimientos son la fundición con silicato- CO_2 y la fundición en cáscara. El proceso del CO_2 es un desarrollo



patas para mesa de la serie High Funk	
Producto	
Diseñador	Olof Kolte
Materiales	aluminio
Fabricante	fabricadas originalmente por David Design
País	Suecia
Fecha	2001

El concepto que subyace a estas patas es que se adquiere un diseño de mesa sin comprar el tablero: los clientes pueden elegir un juego de patas que encajen bajo el tablero de su elección.

reciente que conlleva el ligado de la arena con silicato de sodio (y no con arcilla), que durante la fundición se transforma en CO_2 . De este modo se consigue una mayor precisión, ya que el uso del silicato de sodio robustece el molde. La fundición en cáscara emplea arena muy pura y de grano fino revestida de una resina

termofraguante. Ello implica que el molde puede tener una pared delgada (sólo 10 milímetros, por ejemplo) pero de gran resistencia. La fundición en cáscara presenta varias ventajas en relación a la convencional hecha en arena, tales como una mayor tolerancia y una superficie más regular.



Volúmenes de producción

La fundición en arena puede emplearse en la fabricación de productos únicos o para grandes volúmenes de producción.

Precio unitario frente a inversión de capital

En el caso de la fundición en arena desarrollada mediante técnica manual, el precio dependerá del coste de fabricación del patrón de madera, resultando el precio unitario del producto relativamente barato. Los procesos automatizados son caros, aunque, evidentemente, rebajan los costes unitarios.

Velocidad

Por comparación con la fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195), este proceso requiere bastante tiempo.

Superficie

La fundición en arena proporciona superficies de gran textura que precisan limado y pulido si se requiere un acabado fino. Cuando esta técnica se usa con poliestireno, no deja líneas divisorias, por lo que hace falta menos acabado. La fundición en cáscara sirve también para obtener mejores acabados en superficie.

Tipos/complejidad de la forma

Por su propia naturaleza, la arena se comporta como un material frágil en los procesos de fundición, por lo que esta técnica se adecua mejor al conformado de geometrías bastante simples. No obstante, la evolución de este proceso por medio de numerosas variantes permite la producción de formas complejas con paredes de diversos espesores y con rebajes.

Tamaño

Si la comparamos con otras formas de fundición de metales, la técnica de la arena permite moldear productos muy grandes, aunque las piezas tienen que tener un espesor de pared mínimo de entre 3 y 5 milímetros: su acabado resulta también comparativamente tosco.

Tolerancias

Como sucede con muchas otras técnicas de fundición, también con ésta hay que tener en cuenta la contracción que experimentan los materiales. Dicha contracción varía en función del metal del que estemos hablando, aunque por lo general no supera el entorno del 2,5 por ciento. La fundición en cáscara permite un mayor nivel de precisión dimensional.

Materiales relevantes

Por regla general, metales con puntos de fusión bajos: plomo, zinc, estaño, aluminio, aleaciones de cobre, hierro y determinados aceros.

Productos habituales

Bloques de motor para automóvil, cilindros de motor y distribuidores de turbinas.

Métodos similares

Entre los métodos comparables, aunque más caros, cabe citar la fundición en matriz (véase pág. 195) y la fundición por revestimiento (véase pág. 198), aunque en términos globales la fundición en arena es capaz de producir formas más complejas.

Información complementaria

www.icme.org.uk

www.castingsdev.com

www.castingstechnology.com

www.engineersedge.com/sand_cast

www.engineersedge.com/casting_design

reciente que conlleva el ligado de la arena con silicato de sodio (y no con arcilla), que durante la fundición se transforma en CO_2 . De este modo se consigue una mayor precisión, ya que el uso del silicato de sodio robustece el molde. La fundición en cáscara emplea arena muy pura y de grano fino revestida de una resina

termofraguante. Ello implica que el molde puede tener una pared delgada (sólo 10 milímetros, por ejemplo) pero de gran resistencia. La fundición en cáscara presenta varias ventajas en relación a la convencional hecha en arena, tales como una mayor tolerancia y una superficie más regular.

Volúmenes de producción

La fundición en arena puede emplearse en la fabricación de productos únicos o para grandes volúmenes de producción.

Precio unitario frente a inversión de capital

En el caso de la fundición en arena desarrollada mediante técnica manual, el precio dependerá del coste de fabricación del patrón de madera, resultando el precio unitario del producto relativamente barato. Los procesos automatizados son caros, aunque, evidentemente, rebajan los costes unitarios.

Velocidad

Por comparación con la fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195), este proceso requiere bastante tiempo.

Superficie

La fundición en arena proporciona superficies de gran textura que precisan limado y pulido si se requiere un acabado fino. Cuando esta técnica se usa con poliestireno, no deja líneas divisorias, por lo que hace falta menos acabado. La fundición en cáscara sirve también para obtener mejores acabados en superficie.

Tipos/complejidad de la forma

Por su propia naturaleza, la arena se comporta como un material frágil en los procesos de fundición, por lo que esta técnica se adecua mejor al conformado de geometrías bastante simples. No obstante, la evolución de este proceso por medio de numerosas variantes permite la producción de formas complejas con paredes de diversos espesores y con rebajes.

Tamaño

Si la comparamos con otras formas de fundición de metales, la técnica de la arena permite moldear productos muy grandes, aunque las piezas tienen que tener un espesor de pared mínimo de entre 3 y 5 milímetros: su acabado resulta también comparativamente tosco.

Tolerancias

Como sucede con muchas otras técnicas de fundición, también con ésta hay que tener en cuenta la contracción que experimentan los materiales. Dicha contracción varía en función del metal del que estemos hablando, aunque por lo general no supera el entorno del 2,5 por ciento. La fundición en cáscara permite un mayor nivel de precisión dimensional.

Materiales relevantes

Por regla general, metales con puntos de fusión bajos: plomo, zinc, estaño, aluminio, aleaciones de cobre, hierro y determinados aceros.

Productos habituales

Bloques de motor para automóvil, cilindros de motor y distribuidores de turbinas.

Métodos similares

Entre los métodos comparables, aunque más caros, cabe citar la fundición en matriz (véase pág. 195) y la fundición por revestimiento (véase pág. 198), aunque en términos globales la fundición en arena es capaz de producir formas más complejas.

Información complementaria

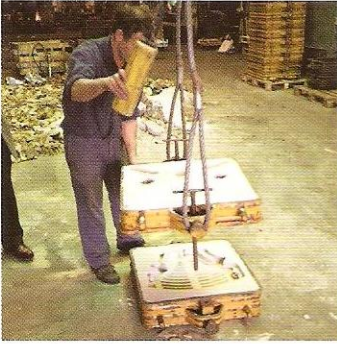
www.icme.org.uk

www.castingsdev.com

www.castingstechnology.com

www.engineersedge.com/sand_cast

www.engineersedge.com/casting_design



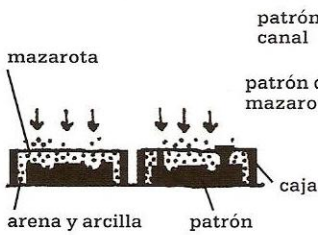
1 Aquí se ve claramente la cavidad del molde inferior mientras se hace descender el superior.



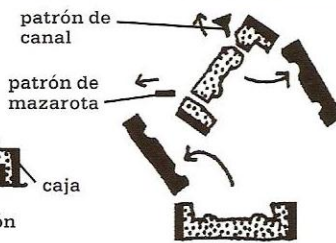
2 Se vierte metal fundido en los canales de colada.



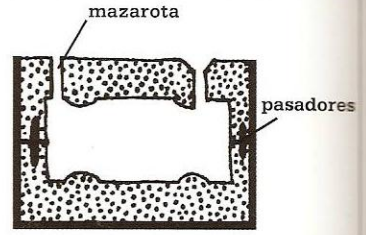
3 Se separa la pieza junto con el molde superior. Ahora está lista para el acabado.



1 Se incrusta el patrón original (que incluye canales y mazarotas) en cada una de las dos mitades de la caja de arena.



2 Una vez compactada la arena, se retira el patrón.



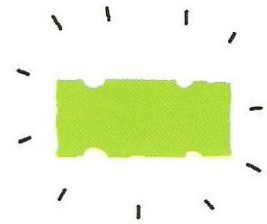
3 Las dos mitades de la caja de arena se unen y se sujetan con pasadores de alineación.



4 Se vierte el metal fundido en los canales, rellenando así la cavidad del molde.



5 Una vez enfriada la colada, se extrae la pieza de la arena.



6 La pieza terminada.



- Proceso de bajo coste.
- Fácil manejo.
- Muchas de sus modalidades más avanzadas permiten la fabricación de piezas muy complicadas.
- Niveles de producción flexibles.



- Puede requerir bastante mano de obra y los costes unitarios pueden resultar elevados si se utiliza para la producción en lotes pequeños.
- Es posible que las piezas requieran un acabado considerable.

Prensado del vidrio

El prensado del vidrio –que ha sido descrito como lo más parecido al «moldeo por inyección adaptado al vidrio»– es un sistema que permite producir en masa sofisticados artículos de este material con detalles tanto en su cara externa como en la interna. Ello contrasta vivamente con la técnica del soplado del vidrio (véase pág. 98), en la que los detalles se limitan exclusivamente a la superficie exterior. De hecho, podemos atribuir el espectacular auge de la fabricación masiva de todo tipo de asequibles productos de vidrio a la introducción de esta técnica en 1827.

Lo esencial del proceso consiste en precalentar cuidadosamente un molde macho (convexo) y un molde hembra (cóncavo) y en mantenerlos a una

temperatura constante para garantizar que el vidrio caliente no se pegará en su interior. Se aplasta entonces una gota de vidrio líquido y viscoso entre ambos moldes, teniendo en cuenta que el espacio que hayamos dejado entre los dos determinará el grosor del producto final. Es precisamente la utilización de estos dos moldes –que dejarán una impronta interna y otra externa– lo que permite el control de la forma en las dos caras del objeto. Para la producción a gran escala, lo normal es que las máquinas vayan montadas sobre una plataforma giratoria con una serie de estaciones que ejecutan las diversas fases de la fabricación, desde el rellenado del molde con vidrio hasta el prensado propiamente dicho.



Producto	exprimidor de limones
Materiales	vidrio sodocálcico
País	China

Este exprimidor de limones ilustra (como podría haberlo hecho igualmente un cenicero del bar) las formas complejas y las paredes gruesas y voluminosas que se pueden conseguir mediante el prensado mecánico del vidrio. Contrastan estas formas con las de los objetos de vidrio más finos y más huecos que se fabrican mediante soplado mecánico.

Los productos de paredes gruesas y aspecto macizo típicos de este método de fabricación implica productos más utilitarios que los hechos con vidrio cortado de gran calidad: este último pasa por un proceso secundario de esmerilado para conseguir esos bordes limpios y

afilados que son su seña de identidad más clara. Como pasa con otros procesos que sirven para crear productos con fuerte «personalidad», el tacto y el aspecto tan especiales del vidrio prensado hacen que algunas piezas se conviertan en artículos de coleccionista.



Volúmenes de producción

El término «prensado de vidrio» puede designar procesos manuales, semiautomáticos o plenamente mecanizados y automatizados. La producción semiautomatizada, útil para fabricar un mínimo de 500 unidades, suele emplearse para el muestreo de grandes series de producción en el marco de un proceso completamente automatizado.

Precio unitario frente a inversión de capital

En la producción completamente automatizada los precios unitarios pueden ser muy bajos, pero también requiere inversiones costosas en bienes de capital.

Velocidad

En un dispositivo de producción automatizado –y siempre en función del tamaño del producto–, una sola máquina puede ajustarse para alojar varios moldes simultáneamente, lo que puede generar ritmos de producción enormes (en algunos casos, de unas 5.000 piezas a la hora).

Superficie

Mediante el prensado del vidrio se pueden conseguir concavidades, perfiles dentados y hasta patrones de diamante, aunque con estos diseños la definición resulta menos nítida que con el vidrio cortado.

Tipos/complejidad de la forma

El vidrio soplado (véase pág. 98) se presta a las formas redondeadas, mientras que el prensado es mucho más versátil, porque permite ornamentaciones y detalles más complejos. Uno de los requisitos de diseño fundamentales es que no resulta posible hacer formas cerradas y que, como sucede en el termoformado (véase pág. 53), el producto debe tener un ángulo de inclinación lateral que permita la apertura del molde al final de la producción. Por lo

demás, el vidrio prensado se adapta mejor a los artículos huecos de paredes gruesas.

Tamaño

Con algunos dispositivos de producción semiautomatizados es posible obtener escalas máximas de unos 600 milímetros de diámetro. También se pueden fabricar piezas más grandes dependiendo del volumen de producción y del fabricante.

Tolerancias

Debido a la contracción y dilatación del material, el prensado del vidrio puede alcanzar los altos niveles de tolerancia de los componentes de ingeniería. La tolerancia típica es de ± 1 milímetro.

Materiales relevantes

Casi cualquier tipo de vidrio.

Productos habituales

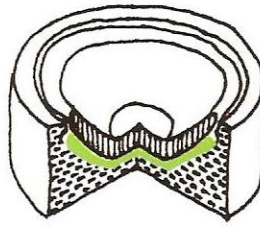
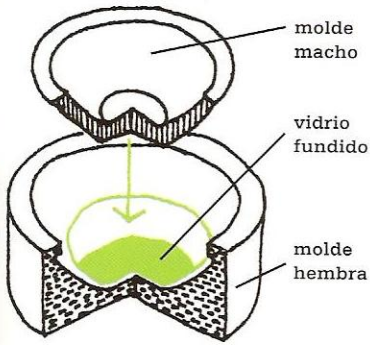
Exprimidores, señalización para el ferrocarril, lentes, alumbrado público y publicidad luminosa, material de vidrio para laboratorio, iluminación encastrada en pavimento, bloques de ladrillo de vidrio, sistemas de iluminación para barcos y componentes marítimos, balizas luminosas para aviones y aeropuertos y sistemas de señalización variada.

Métodos similares

Se puede recurrir al vidrio cortado si se buscan diseños con gran finura de detalles, pero sin duda el vidrio prensado es la mejor opción a la hora de fabricar artículos de vidrio con formas abiertas y decoración en ambas caras. En el caso de los productos plásticos, el moldeado por compresión (véase pág. 156) es una alternativa que se puede considerar.

Información complementaria

www.nazeing-glass.com
www.glasspac.com
www.britglass.org.uk



1 Los moldes convexo y cóncavo se precalientan y se mantienen a temperatura constante para garantizar que el vidrio caliente no se pegue en su interior.

2 La gota de vidrio caliente y fundido se aplasta entre los dos moldes. El espesor del producto final viene determinado por la cantidad de espacio que se haya dejado entre los moldes macho y hembra.



- Permite conseguir definición en las caras interna y externa.
- Permite obtener detalles de superficie que serían imposibles mediante la técnica del soplado.



- Su principal desventaja en relación al soplado del vidrio (véase pág. 98) es que no sirve para fabricar recipientes cerrados.
- No es adecuado para la fabricación de secciones de pared fina.
- Por lo general, implica un maquinado más costoso que el de la fabricación en masa de vidrio soplado.

Vaciado a presión

con «vaciado-drenaje a presión» (*pressure-assisted drain casting*)

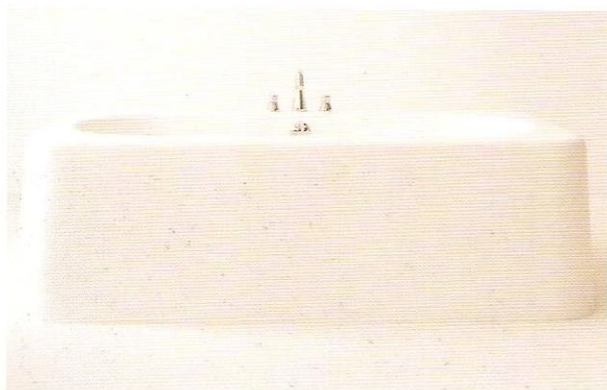
El vaciado a presión se desarrolla a partir del vaciado de cerámica convencional (véase pág. 122). En comparación con la técnica tradicional, ésta presenta varias ventajas de fabricación que tienen que ver con la velocidad del proceso y la complejidad del producto final.

El vaciado convencional implica el uso de moldes de escayola en los que se vierte la barbotina. A partir de ahí, la «dsecación» de dicha barbotina se basa en el efecto capilar, en virtud del cual la escayola absorbe el agua de la colada cerámica, dejando que la arcilla forme una capa seca adherida a la pared interna del molde. Esta operación puede ser bastante lenta, y los moldes de escayola tienen una vida limitada.

En el vaciado a presión, se construye el molde con un material más elástico y con orificios más grandes. El tamaño de

estos agujeros tiene como objeto la reducción de la capilaridad del molde y su sustitución por el efecto de la presión (normalmente entre 10 y 30 bares, dependiendo del tamaño del producto). Ello implica que hay que bombear la colada hasta el interior del molde de plástico poroso. Sometida a esta presión, el agua se evacúa a través de los conductos capilares que el molde tiene por su propia naturaleza. Una vez seca, la pieza se extrae del molde, y acto seguido se desbarba cualquier imperfección que se haya formado. Finalmente, se seca el producto por medio de secadores rápidos y se rocía con un esmalte antes del horneado.

Un proyecto denominado Flexiform y liderado por la empresa británica Ceram Research ha perfeccionado la técnica del vaciado a presión mediante un proceso que ellos llaman *pressure-assisted drain casting*—algo así como «vaciado-drenaje a presión»—. Esta variante sustituye el molde sintético convencional por un plástico mecanizable directamente a partir del archivo de ordenador que contiene el diseño original del producto. De aquí se derivan una serie de ventajas, como son la reducción de los costes de mecanizado y la posibilidad de rehacer el molde, cosa imposible con los moldes que se utilizan en el vaciado a presión convencional.



Producto	bañera de la gama Loo
Diseñador	Marc Newson
Materiales	cerámica
Fabricante	Ideal Standard
País	Reino Unido
Fecha	2003

Esta bañera es un buen ejemplo del tamaño de vaciado que se puede obtener con materiales cerámicos.



Volúmenes de producción

Los moldes empleados en este proceso suelen requerir volúmenes de unas 10.000 piezas para justificar el uso de maquinaria plástica.

Precio unitario frente a inversión de capital

La rentabilidad de las piezas individuales derivada de varios factores que ya se han apuntado. En el proyecto de vaciado-drenaje de alta presión de Flexiform, los costes de los moldes se reducen considerablemente.

Velocidad

El vaciado convencional (véase pág. 122) puede requerir hasta una hora entre colada, desmoldeo y secado. En condiciones normales, los vaciados asistidos por presión pueden reducir este tiempo en aproximadamente un 30 por ciento.

Superficie

El acabado de las superficies es superior al del vaciado convencional, reduciéndose las juntas de colada y, por ende, la necesidad del pulido con discos de fieltro.

Tipos/complejidad de la forma

Desde piezas pequeñas y sencillas hasta productos grandes y complejos –rebajes incluidos–. El proceso sirve para fabricar prácticamente cualquier cosa: desde accesorios de baño hasta objetos de arte, pasando por vajilla de mesa. Sólo hay que pensar en las curvas en forma de U que aparecen en la parte inferior de una

taza de inodoro para comprender las complejidades formales que se pueden abordar mediante este método.

Tamaño

Desde tacitas de café hasta tazas de inodoro y bañeras.

Tolerancias

Como sucede con cualquier pieza sometida a cocción, hay que fabricar los moldes teniendo en cuenta la reducción de tamaño que se produce a consecuencia del horneado.

Materiales relevantes

Proceso adaptado a la mayoría de los materiales cerámicos.

Productos habituales

Vajilla de mesa de cierta complejidad que puede requerir moldes de cuatro partes (teteras y cafeteras con asas integradas). Aparte de su utilización a gran escala en la fabricación de mobiliario sanitario, el vaciado a presión concita un enorme interés en el ámbito de la tecnología de las cerámicas avanzadas.

Métodos similares

Vaciado de cerámica (véase pág. 122) y moldeo por compresión (véase pág. 156).

Información complementaria

www.ceramfed.co.uk

www.cerameunie.net

www.ceram.com

www.ideal-standard.co.uk



- El molde de plástico permite usar presiones más altas en la fabricación de piezas grandes.
- Los moldes de plástico duran más (aproximadamente 10.000 vaciados) antes de ser desechados.
- Hacen falta menos moldes, y las necesidades de almacenamiento son también menores.



- Los moldes encarecen los costes de montaje (aunque, en el caso del vaciado-drenaje, los moldes del proyecto Flexiform reducen considerablemente los gastos de equipamiento industrial).

Procesado viscoplástico de cerámicas (VPP)

A medida que avanzan la tecnología de materiales y las técnicas de fabricación, se van ocupando las zonas intermedias, antaño baldías, que separan las distintas familias de materiales. De entre todas estas familias, los plásticos constituyen el grupo más versátil por lo que se refiere a las técnicas de producción disponibles. Sin embargo, otros materiales como los metales y las cerámicas son objeto de investigación con el fin de descubrir nuevos métodos de fabricación en masa que se basen en las técnicas de conformado en estado plástico. Ello significa que ciertos materiales tradicionalmente sujetos a restricciones de conformado –entre ellos las cerámicas– pueden ahora procesarse mediante técnicas como el moldeo por inyección (véase pág. 178).

Material y método de producción van de la mano en el sentido de que las propiedades del primero dictan qué grado de complejidad se puede alcanzar en el segundo. Uno de los problemas del conformado de materiales cerámicos tiene que ver con la necesidad de



Producto	taza de té de la gama Old Roses
Diseñador	Harold Holdcroft
Materiales	cerámica de porcelana de hueso
Fabricante	Royal Doulton
País	Reino Unido
Fecha	1962

La tecnología VPP se ha utilizado desde hace décadas para mejorar las propiedades de la porcelana de hueso. Así fue posible fabricar estas tazas de té inequívocamente británicas mediante moldeo por inyección. Gracias a su diseño y a la rentabilidad de este proceso, se han vendido 100.000.000 de estas tazas desde 1962.

eliminar los defectos microestructurales inherentes a aquéllos. Dichos defectos reducen la resistencia del material y lo vuelven quebradizo. El procesado viscoplástico (o técnica VPP) es un método que potencia las propiedades de las cerámicas y elimina estas fallas. El resultado es un sistema de procesado de estos materiales cuya naturaleza resulta

mucho más flexible y –por utilizar el término técnico– «plástica». El sistema consiste en mezclar a alta presión polvos cerámicos con un polímero viscoso. Esta mezcla se utilizará posteriormente para el conformado de productos mediante una amplia serie de técnicas de fabricación, como son la extrusión (véase pág. 78) y el moldeo por inyección.



Volúmenes de producción

No se aplica.

Precio unitario frente a inversión de capital

No se aplica.

Velocidad

No se aplica.

Superficie

Se pueden conseguir superficies excelentes dependiendo del tamaño del grano del polvo cerámico.

Tipos/complejidad de la forma

Gracias a la mejora en el «comportamiento viscoplástico» de las cerámicas producidas por este método, los productos poseen una gran resistencia en su estado «verde», lo que permite fabricar formas muy osadas.

El proceso permite asimismo conseguir secciones de pared más delgadas que las que se obtienen con los materiales cerámicos convencionales, lo que en último término conlleva piezas más resistentes y ligeras.

Tamaño

Es posible fabricar productos grandes, aunque no todas las dimensiones son practicables. En otras palabras, la técnica VPP es capaz de producir secciones de extrusión largas con un espesor de pared de hasta 6 milímetros o láminas bastante finas.

Tolerancias

No se aplica.

Materiales relevantes

Cualquier material cerámico.

Productos habituales

Productos planos, sustratos de componentes eléctricos, accesorios para hornos, resortes, barras y tubos. Destaca la especial resistencia de estos materiales en productos como tazas de cerámica «en verde», chalecos antibalas y aplicaciones biomédicas.

Métodos similares

No se aplica.

Información complementaria

www.ceram.com



– Es un proceso que se puede emplear con una amplia gama de materiales cerámicos y que ofrece buena resistencia en estado «verde».



– Lo utilizan pocos fabricantes.

nicas adas

Tecnologías avanzadas e innovadoras

El punto de partida de la mayoría de procesos descritos en esta sección se sitúa en un archivo CAD, que es el que proporciona la información luego utilizada para generar la forma final. Ello elimina los costes derivados del equipamiento mecánico. Un ejemplo de la eliminación de costes por medio de técnicas avanzadas lo tenemos en los denominados «mandriles inteligentes» (Smart Mandrels™) –si bien éstos no están controlados por archivos CAD–. En general, tales procesos aportan un radical cambio de mentalidad con respecto a las normas de producción vigentes. Con este telón de fondo, los métodos que se abordan en el presente capítulo señalan los desarrollos futuros de la producción industrial y apuntan al hecho de que estas nuevas tecnologías van a provocar el mayor cambio en la naturaleza de la producción en masa desde la Revolución industrial. Nos encontramos ante un grupo de procesos entre los que se incluye alguno relativamente conocido, como la estereolitografía, pero también tecnologías nuevas que colocan el mundo de la fabricación a disposición del consumidor.

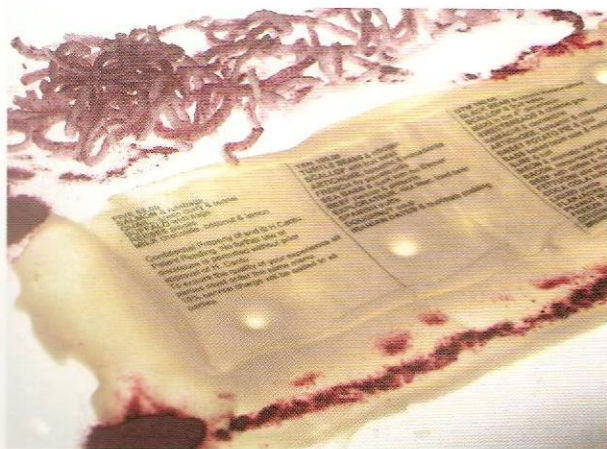
Impresión por chorro de tinta

Las impresoras de sobremesa han permitido que cualquiera que tenga un ordenador pueda convertir su mesa de trabajo en un escenario donde pueden pasar muchísimas cosas. Y es que nuestra humilde impresora bien puede ser el eje de una revolución que transformará el modo en que fabricamos los objetos. No tardará en llegar el día en que seamos capaces de descargarnos los planos de un producto (el manillar de una puerta, por ejemplo) y fabricarlo desde nuestra impresora tridimensional de sobremesa previamente cargada con la materia prima adecuada, igual que en la actualidad podemos cargar nuestra panificadora doméstica justo antes de acostarnos para disfrutar a la mañana siguiente de un pan recién hecho. Pero antes de que esta tecnología tridimensional llegue a hacerse realidad en el ámbito doméstico, algunos forofos de la tecnología se esfuerzan por

descubrir nuevas aplicaciones a este artilingio familiar y a su estridente y repetitivo ruido.

Ya hay un chef llamado Homaro Cantu, cuya base de operaciones es el restaurante Moto de Chicago, que ha transformado una impresora de chorro de tinta modelo Canon i560 en una máquina de fabricar comida. Cantu ha sustituido los cartuchos de tinta CMYK por líquidos comestibles que proyecta sobre un papel igualmente comestible con base de almidón de maíz. En una operación digna de Willy Wonka (no nos olvidemos de las flores y el césped de caramelo de su fábrica de chocolate), Cantu se ha apropiado del proceso de la impresión para crear un concepto absolutamente innovador del modo en que pedimos y comemos en un restaurante.

Seguramente, una de las más insólitas adaptaciones de esta tecnología la han desarrollado diversos equipos de científicos de todo el mundo que recurren a impresoras de chorro de tinta «modificadas» para generar tejidos vivos. Partiendo de la noción bien conocida de que, cuando se colocan juntas, las células se unen entre sí, este proceso conlleva la



Producto	menú comestible
Diseñador	Homaro Cantu
Materiales	colorantes vegetales sobre papel comestible
Fabricante	restaurante Moto, Chicago
País	Estados Unidos
Fecha	2003

Este menú impreso comestible ilustra un interesante trasvase entre los mundos de la gastronomía y la producción industrial. Nos demuestra además que, incluso en el ámbito de las tecnologías, la gastronomía se ha convertido en una rica fuente de experimentación.

construcción de un tejido mediante un gel termorreversible que actúa a modo de un andamiaje recubriendo cada célula. El equipo que ha desarrollado esta técnica (de la Facultad de Medicina de la Universidad de Carolina del Sur) utiliza dicho gel como sistema para aglutinar las

células mientras éstas se distribuyen por medio de una «impresión». El propio gel resulta por sí mismo interesante, ya que ha sido diseñado para pasar instantáneamente de estado líquido a gel (y viceversa) en respuesta a estímulos tales como un cambio de temperatura.



Volúmenes de producción

Desde productos únicos hasta pequeños lotes de fabricación.

Precio unitario frente a inversión de capital

Las impresoras en dos dimensiones resultan asequibles para casi todo el mundo, con lo que es posible reservar una sólo para experimentar con ella, sustituyendo las tintas por cualquier cosa que se nos ocurra.

Velocidad

Depende de lo que se quiera hacer, pero sigue siendo por lo general un proceso bastante lento.

Superficie

Cuando se fabrican objetos tridimensionales a partir de materiales de producción convencionales, las superficies resultantes pueden mostrar una cierta textura estriada que refleja el modo en que se ha depositado el material.

Tipos/complejidad de la forma

Se pueden crear formas complejísticas limitadas únicamente por el diseño que se ha metido en el ordenador.

Tamaño

El equipo de la Facultad de Medicina de la Universidad de Carolina del Sur ha demostrado que es posible trabajar con tamaños extremadamente precisos, que en su caso operan célula a célula.

Tolerancias

La producción de tejido vivo tridimensional demuestra las altas tolerancias que cabe esperar de este proceso.

Materiales relevantes

Repitémoslo: la máquina es un campo de exploración abierto. Bien es cierto que hace falta una combinación básica de materiales líquidos y sólidos. Los ejemplos que se han referido dan una cierta idea del potencial de este método.

Productos habituales

Lo bueno de este proceso es que los ejemplos mencionados representan en la actualidad un tipo de producción que bien podríamos llamar «de bricolaje», por cuanto se basa en los «apaños» realizados por equipos de personas a partir de máquinas y tecnologías existentes a las que se otorgan nuevos usos. Los dos ejemplos comentados, tan distintos entre sí, demuestran que con esta tecnología híbrida no podemos hablar de una aplicación característica.

Métodos similares

Contour crafting (véase pág. 216), sinterizado selectivo por láser (SLS) (véase pág. 224) y electroconformado para la fabricación de micromoldes (véase pág. 222).

Información complementaria

www.motorestaurant.com



- Permite convertir en un objeto tridimensional cualquier forma que se haya generado en un ordenador.
- Proceso abierto a la experimentación.

- Tecnología aún en sus comienzos.
- Es un método lento.

construcción de un tejido mediante un gel termorreversible que actúa a modo de un andamiaje recubriendo cada célula. El equipo que ha desarrollado esta técnica (de la Facultad de Medicina de la Universidad de Carolina del Sur) utiliza dicho gel como sistema para aglutinar las

células mientras éstas se distribuyen por medio de una «impresión». El propio gel resulta por sí mismo interesante, ya que ha sido diseñado para pasar instantáneamente de estado líquido a gel (y viceversa) en respuesta a estímulos tales como un cambio de temperatura.



Volúmenes de producción

Desde productos únicos hasta pequeños lotes de fabricación.

Precio unitario frente a inversión de capital

Las impresoras en dos dimensiones resultan asequibles para casi todo el mundo, con lo que es posible reservar una sólo para experimentar con ella, sustituyendo las tintas por cualquier cosa que se nos ocurra.

Velocidad

Depende de lo que se quiera hacer, pero sigue siendo por lo general un proceso bastante lento.

Superficie

Cuando se fabrican objetos tridimensionales a partir de materiales de producción convencionales, las superficies resultantes pueden mostrar una cierta textura estriada que refleja el modo en que se ha depositado el material.

Tipos/complejidad de la forma

Se pueden crear formas complejísticas limitadas únicamente por el diseño que se ha metido en el ordenador.

Tamaño

El equipo de la Facultad de Medicina de la Universidad de Carolina del Sur ha demostrado que es posible trabajar con tamaños extremadamente precisos, que en su caso operan célula a célula.

Tolerancias

La producción de tejido vivo tridimensional demuestra las altas tolerancias que cabe esperar de este proceso.

Materiales relevantes

Repitémoslo: la máquina es un campo de exploración abierto. Bien es cierto que hace falta una combinación básica de materiales líquidos y sólidos. Los ejemplos que se han referido dan una cierta idea del potencial de este método.

Productos habituales

Lo bueno de este proceso es que los ejemplos mencionados representan en la actualidad un tipo de producción que bien podríamos llamar «de bricolaje», por cuanto se basa en los «apños» realizados por equipos de personas a partir de máquinas y tecnologías existentes a las que se otorgan nuevos usos. Los dos ejemplos comentados, tan distintos entre sí, demuestran que con esta tecnología híbrida no podemos hablar de una aplicación característica.

Métodos similares

Contour crafting (véase pág. 216), sinterizado selectivo por láser (SLS) (véase pág. 224) y electroconformado para la fabricación de micromoldes (véase pág. 222).

Información complementaria

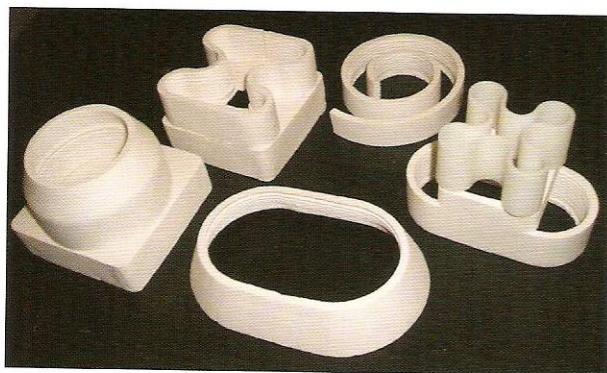
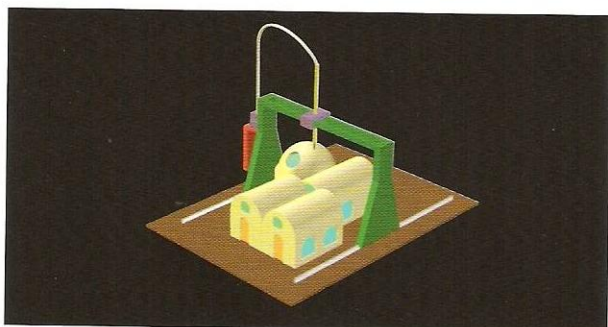
www.motorestaurant.com



- Permite convertir en un objeto tridimensional cualquier forma que se haya generado en un ordenador.
- Proceso abierto a la experimentación.

- Tecnología aún en sus comienzos.
- Es un método lento.

Contour Crafting



**prototipos producidos
mediante contour crafting y
planos de diseño en formato CAD**

Producto	desarrollados por el doctor Behrokh Khoshnevis
Diseñador	hormigón
Materiales	el doctor Khoshnevis, con el patrocinio de la Fundación Nacional para las Ciencias (NSF) y la Oficina de Investigaciones Navales
Fabricante	Estados Unidos
País	se espera su comercialización en 2008
Fecha	

Aunque no tienen el tamaño de un edificio, estas muestras ilustran la tipología de formas que se pueden generar mediante esta técnica. Justo encima se puede ver un ejemplo del tipo de diseño CAD que controla el proceso de rociado.

He aquí un proceso potencialmente revolucionario para la industria de la construcción. El doctor Behrokh Khoshnevis, de la Universidad del Sur de California, ha inventado una máquina capaz de «imprimir» casas. Como él ha destacado, la automatización de la industria manufacturera lleva avanzando sin pausa desde la Revolución industrial. Por contraste, y durante el mismo período, los progresos de la industria de la construcción han sido escasos. Pero ésta es una situación que el doctor Khoshnevis aspira a cambiar mediante un proceso de su invención que él denomina contour crafting –una variante avanzada del rociado de hormigón–.

Esta tecnología se basa en unas máquinas –su comercialización se espera para 2008– que depositan el hormigón un poco como la impresión por chorro de tinta (véase pág. 214) y la extrusión (véase pág. 78). Pero aquí la tecnología se desarrolla a una escala mucho mayor e incluye la capacidad que tiene el cabezal de «impresión» de desplazarse a lo largo de seis ejes e ir agregando material en forma de capas conforme a unos planos en formato CAD –y no en función de gráficos en dos dimensiones–.

Las boquillas de «impresión», que van suspendidas de un carro en forma de saledizo, depositan un hormigón de secado rápido que va conformando una paleta integrada en el sistema y operada por un mecanismo de cilindros y pistones. Una característica secundaria de la técnica del contour crafting consiste en que permite incorporar al proceso servicios como conducciones eléctricas, cañerías y aire acondicionado.



Volúmenes de producción

La característica fundamental del contour crafting es que se trata de un método de construcción automatizado. No obstante, y como es lógico, los edificios sólo se pueden construir de uno en uno.

Precio unitario frente a inversión de capital

Teniendo en cuenta el hecho de que es posible construir múltiples edificios con una sola máquina, el doctor Khoshnevis calcula que el coste de producir por este medio una vivienda con las dimensiones típicas de una casa norteamericana estaría entre una quinta y una cuarta parte del de una construcción convencional.

Velocidad

Este proceso de construcción es capaz de levantar una casa de unos 190 metros cuadrados –incluidas electricidad y conducciones de agua– en menos de 24 horas.

Superficie

El empleo de diversos tipos de paletas consigue una buena superficie en el hormigón, que no requiere trabajos previos antes de aplicar la pintura. De hecho, se puede incluso incorporar un dispositivo de pintura en el propio sistema del contour crafting.

Tipos/complejidad de la forma

Las únicas restricciones con respecto a la forma las dictan los planos en formato CAD

y las fuerzas físicas ordinarias que rigen para todos los edificios. Aún así, es posible extrudir por las boquillas del sistema arcos y otras formas arquitectónicas.

Tamaño

El doctor Khoshnevis sostiene que este método puede usarse para construir desde una casa pequeña hasta un bloque de gran altura.

Tolerancias

La boquilla de aspersión capaz de desplazarse a lo largo de seis ejes permite tolerancias muy elevadas a gran escala.

Materiales relevantes

Cemento, con aditivos como fibra, arena y grava.

Productos habituales

Este proceso ofrece a la industria de la construcción un modo alternativo de poner en pie viviendas permanentes, edificios y complejos arquitectónicos, así como construcciones provisionales de emergencia.

Métodos similares

A esta escala, el proceso no tiene parangón. La utilización de un sistema de diseño informático (CAD) lo asemeja a muchos procesos de prototipado rápido de escala menor (véase, por ejemplo, la estereolitografía, en la pág. 218).

Información complementaria

www.contourcrafting.org

www.freeformconstruction.co.uk



- Es un sistema de construcción rápido.
- Resulta fácil modificar planos y diseños al estar controlados por archivos CAD.
- Permite utilizar materiales locales como refuerzo del cemento.
- Rentable.
- Automatizado.

- Tecnología aún en sus comienzos.

Estereolitografía (SLA)

La estereolitografía (SLA) es uno de los métodos más conocidos de prototipado rápido. Se trata de un proceso controlado por un archivo CAD en el que los productos los genera, capa a capa, un láser que traza un barrido sobre un baño de resina fotosensible. El rayo láser ultravioleta se enfoca sobre la superficie del líquido y va recorriendo la sección transversal de la pieza mientras solidifica

finas capas sucesivas de material líquido. La parte sólida permanece bajo la superficie de la resina mientras dura el proceso, ya que se asienta sobre una base que desciende paulatinamente, permitiendo así que el producto se vaya formando por estratos.

Todas las tecnologías de prototipado rápido ofrecen una libertad de formas geométricas que no tiene equivalente en otros procesos. La estereolitografía es un buen ejemplo de tecnología que permite la verificación de los productos antes de



Producto	frutero modelo
Diseñador	Black Honey
Materiales	Arik Levy
Fabricante	epoxy
País	Materialise
Fecha	Holanda
	2005

Esta hermosa estructura de células abiertas es un magnífico ejemplo de la sofisticación de formas que se puede alcanzar mediante este proceso.

su fabricación en masa. La elección del proceso concreto depende de la geometría de la pieza, de la calidad de superficie requerida o del material que se vaya a utilizar. El sinterizado selectivo mediante láser (SLS) (véase pág. 224), por ejemplo, no alcanza los niveles de calidad de la técnica SLA.

La estereolitografía es un proceso de considerable precisión –aunque no es el más preciso de todos– que se puede aplicar a materiales diversos, pero no

a tantos como la colada al vacío. Este último es un sistema para la producción de lotes pequeños de productos idénticos que se suelen usar en prototipados y modelados. Conlleva la fabricación de un patrón o modelo maestro original que se funde en un molde de silicona. El molde se llena a continuación con resinas plásticas. Se aplica entonces un vacío para obtener piezas de gran precisión, con detalles finos y secciones de pared delgadas.



Volúmenes de producción

Debido al tiempo que requiere la conformación del producto, la técnica SLA se reserva exclusivamente para producciones cortas.

Precio unitario frente a inversión de capital

No necesita maquinaria convencional, por lo que, aunque el precio unitario sea bastante elevado, sigue siendo la forma más rentable de fabricar prototipos.

Velocidad

Depende de una serie de factores que incluyen el volumen de la pieza, el material utilizado y la finura del escalón establecida por el operario. Otro factor a tener en cuenta es la orientación del producto: por ejemplo, si una lata de refresco se trabaja en posición horizontal el proceso es más rápido, aunque menos preciso que cuando se realiza la operación en posición vertical, pues en este caso se requieren más pasadas del láser.

Superficie

El «efecto escalón» característico del trabajo por capas se puede controlar mediante el grosor del propio escalón. Por otra parte, los gradientes con poca caída producirán líneas parecidas a las curvas de nivel de los mapas, mientras que si son acusados o si hay paredes verticales, las superficies serán más lisas. En ambos casos, sin embargo, las piezas pueden requerir un pulido ulterior con chorro de arena.

Tipos/complejidad de la forma

Se puede labrar cualquier forma que se haya diseñado en el ordenador.

Tamaño

Las máquinas convencionales permiten operar sobre un área de 500 por 500 por 600 milímetros. Por encima de esta escala hay que fabricar los productos por partes y unir luego éstas entre sí. De todas formas, algunas empresas construyen sus propias máquinas y son capaces de producir objetos de varios metros de longitud.

Tolerancias

La altura es la dimensión que se determina con menos exactitud con esta técnica debido a que hay que realizar más barridos con el láser, pero en términos generales la tolerancia es de $\pm 0,1$ por ciento más 0,1 milímetros.

Materiales relevantes

Se pueden usar cerámicas, plástico o caucho. Lo más normal es emplear polímeros de ingeniería como el ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), el propileno y las imitaciones acrílicas.

Productos habituales

Aquí la palabra «habituales» no tiene aplicación, puesto que con esta técnica podemos fabricar cualquier cosa que queramos.

Métodos similares

Colada al vacío (ver más arriba), sinterizado selectivo por láser (SLS) (véase pág. 24) y tecnología de impresión por chorro de tinta (véase pág. 214).

Información complementaria

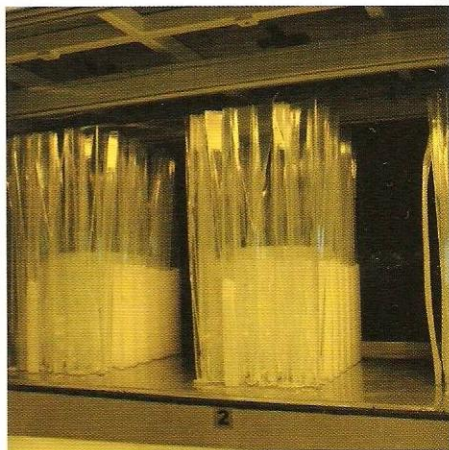
www.crdm.co.uk

www.materialise.com

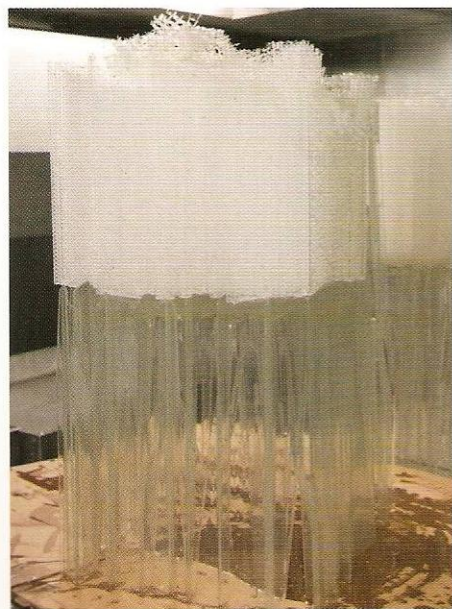
www.freedomofcreation.com



1 Esta imagen de un modelo de silla C1 diseñado por Patrick Jouin nos muestra el producto terminado en el momento en que es extraído del baño polimérico. Durante la fase de fabricación, la única parte que queda visible es el borde superior de la pieza que el láser va conformando.



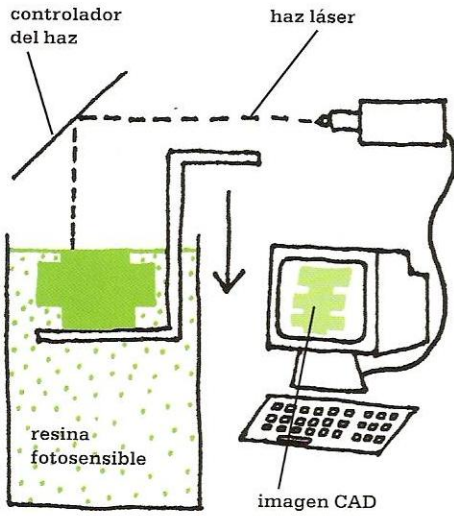
2 La silla ya terminada se ve en esta fotografía con un bloque de color blanco que actúa como refuerzo interno del asiento durante el proceso de conformado: sin este refuerzo la silla se vendría abajo.



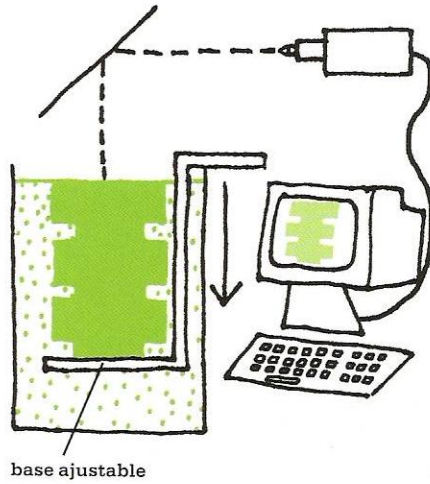
3 La silla terminada justo antes de que se retire el bloque de refuerzo.



4 El producto final en todo su esplendor traslúcido y espectral.



1 Conforme a las instrucciones contenidas en un archivo CAD, los productos se van conformando capa a capa mediante el barrido láser de un baño de resina fotosensible.



2 El rayo láser ultravioleta se enfoca sobre la superficie del líquido y va trazando la sección transversal de la pieza mientras solidifica las sucesivas y finas capas del líquido. La pieza se va hundiendo poco a poco bajo la superficie a medida que se hace descender la base sobre la que se asienta. De este modo se construye la estructura completa.



- Libertad ilimitada de formas geométricas.
- Buen acabado de las superficies.
- No hay pasos intermedios entre el modelo CAD y el objeto acabado.



- Costes unitarios elevados.
- Sólo se pueden utilizar resinas fotosensibles.
- Poca precisión en dos direcciones.
- Suele necesitar estructuras de apoyo.
- No es tan rápido como la mayoría de los procesos de prototipado.

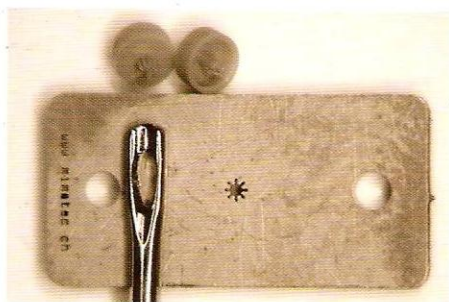
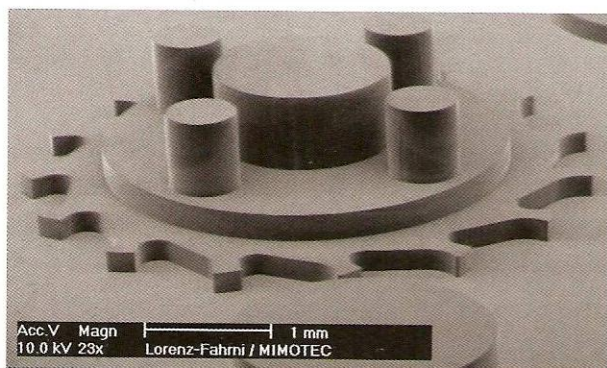
Electroconformado para la fabricación de micromoldes

La empresa suiza Mimotec ha desarrollado el electroconformado (véase pág. 146) hasta el punto de usarlo para la fabricación de micromoldes. Pero, antes de describir el propio proceso de Mimotec, es preciso aclarar que el micromoldeado no es lo mismo que el moldeo por inyección de piezas «en miniatura». El micromoldeo

trabaja con tamaños nano, los más pequeños posibles, por lo que no se trata sólo de un moldeo a pequeña escala. Se trata de piezas cuyo peso puede llegar a ser de hasta unas pocas milésimas de gramo y cuyos detalles pueden tener un grosor de unas pocas micras.

Aunque el principio que subyace al micromoldeo es relativamente convencional, los métodos empleados para producir los moldes son fascinantes. En primer lugar, los micromoldes se pueden fabricar por medio de varios métodos, entre los cuales se incluye una técnica de microfresado (que desbasta el material). La empresa Mimotec, sin embargo, ha conseguido, gracias al electroconformado, un dominio del detalle fino que permite fabricar moldes verdaderamente diminutos.

El proceso Mimotec comienza con el depósito de una capa no polimerizada de material fotorresistente sobre una placa de vidrio. Esta capa se expone a continuación a una luz ultravioleta a través de una máscara que reproduce la forma final y hace que el fotorresistente expuesto se polimerice. La porción no expuesta es desechada, mientras que lo que queda se recubre de un revestimiento de oro, al que se añade una capa adicional de material fotorresistente. La pieza se construye de este modo para obtener un producto complejo que actúe como bloque de moldeo e incorpore orificios por los que se pueda inyectar el plástico en el producto. Es sólo uno de los muchos métodos nuevos para conformar productos a nanoescala, y constituye una excelente demostración de los constantes avances de la investigación en este campo de la ingeniería de producción.



Producto	micromolde
Fabricante	Mimotec
País	Suiza

Un primer plano de la pieza acabada (*superior*) nos muestra la escala que se puede conseguir, como también lo hace el molde (*inferior*) que tiene una cavidad para el piñón de sólo 0,6 milímetros y lleva una inscripción en un lado. La placa (como demuestra la presencia de la aguja) sólo mide 5 por 9,8 milímetros, con un espesor de 1,2 milímetros.



Volúmenes de producción

El empleo de estos micromoldes permite producir decenas de miles de productos en un solo ciclo.

Precio unitario frente a inversión de capital

Al tratarse de un proceso controlado por ordenador, los costes de montar el dispositivo de producción son reducidos.

Velocidad

Se tardan unas siete horas en depositar una capa de 100 micrómetros de espesor, aunque es posible fabricar simultáneamente varios miles de micromoldes sobre una misma placa de vidrio.

Superficie

Con los micromoldes fabricados mediante esta técnica es posible conseguir detalles muy elaborados y un buen acabado.

Tipos/complejidad de la forma

No es posible fabricar moldes para producir piezas ahusadas o que no tengan lados verticales rectos. Se pueden hacer escalones, pero ello dilata los tiempos.

Tamaño

Esta técnica permite crear bloques de sólo 100 micras cúbicas con canalículos de 30 micras de anchura. Las piezas más grandes son de 100 por 50 milímetros.

Tolerancias

± 2 micras.

Materiales relevantes

El propio micromolde está fabricado en oro con un revestimiento de una aleación de níquel. Las piezas moldeadas suelen ser de poliacetales (POM) y resinas acetales.

Productos habituales

Como cabría esperar, los micromoldes se usan para fabricar piezas muy pequeñas destinadas a dispositivos biomédicos y aparatos electrónicos, así como en relojería y en la producción de componentes para telecomunicaciones.

Métodos similares

Mecanizado por descarga eléctrica (EDM) (véase pág. 38) y técnicas de microfresado.

Información complementaria

www.mimotec.ch



- Método capaz de conseguir una precisión extrema.
- Los reducidos costes de montaje del electroconformado lo convierten en una buena alternativa de cara a la fabricación de prototipos.



- Esta forma de fabricar micromoldes resulta un proceso muy lento.
- Las limitaciones de la tecnología actual conllevan que sólo se pueda utilizar níquel y aleaciones de níquel-fósforo en la fabricación de micromoldes.

Sinterizado selectivo por láser (SLS)

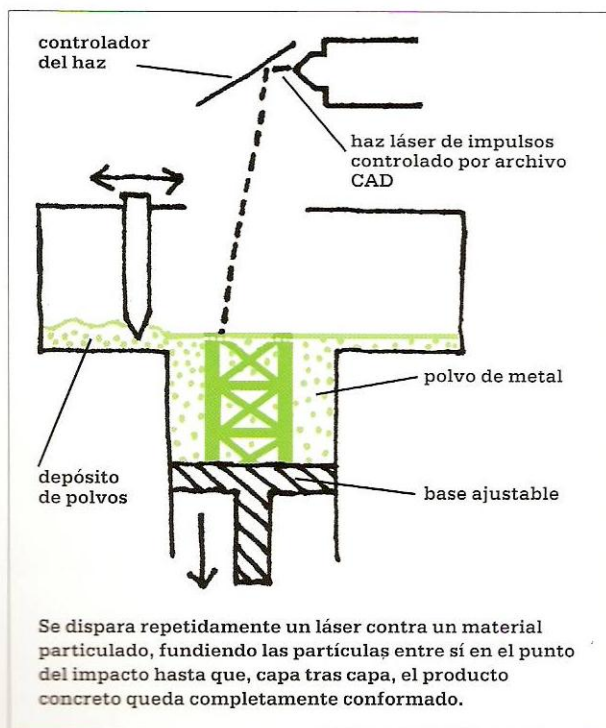
con fundido selectivo por láser (SLM)

Una de las líneas dominantes en la innovación aplicada a las técnicas de producción es la del prototipado rápido. Ello se debe a que los diseñadores son cada vez más capaces de explotar el potencial que encierra la fabricación de objetos únicos a partir de un archivo CAD informático, y el sinterizado selectivo por láser (SLS) constituye uno de esos desarrollos importantes que abren todo un mundo a la creación de prototipos.

El sinterizado (véase pág. 150), una parte importante de la pulvimetalurgia, puede ser utilizado en distintos métodos

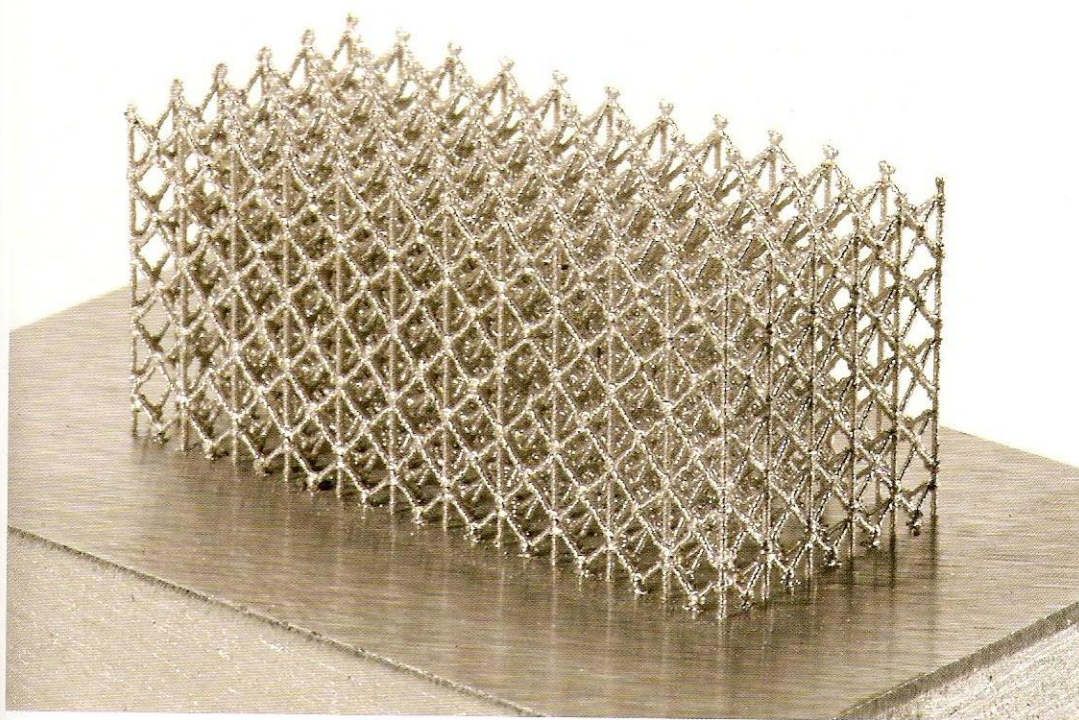
productivos. Así, el sinterizado selectivo por láser es una adaptación (y un refinamiento) de esta técnica, consistente en utilizar un láser para solidificar áreas concretas dentro de un bloque de polvos y de esta forma producir objetos ligeros. Como pasa con cualquier proceso de sinterizado, también aquí el punto de partida es un material en polvo (en el caso de los implantes que sirven de ilustración a esta técnica, polvo de metal). Por tanto, un láser controlado mediante un archivo CAD es disparado repetidamente contra el polvo, fundiendo entre sí las partículas capa a capa hasta que se completa el proceso.

Pero para el equipo de la firma británica Mining and Chemical Products Ltd. esto no es más que el principio. Esta empresa que utiliza la tecnología de que hablamos para generar una especie de andamiaje microscópico. En efecto, ellos son capaces de explotar el potencial de un diseño hecho en ordenador para generar productos de estructura diminuta pero compleja, con una configuración parecida a la de una celosía. El resultado son formas compuestas en su mayoría de aire (una especie de esponjas). La ventaja



de este tipo de microestructura es que permite crear productos metálicos con una excelente relación resistencia-peso: la densidad de las piezas de acero

inoxidable, por ejemplo, se puede reducir hasta en un 90 por ciento por comparación con los procesos convencionales.



**muestra de una estructura
jerárquica producida
mediante la tecnología SLM**

Producto	no se aplica
Diseñador	no se aplica
Materiales	acero inoxidable
Fabricante	Mining Chemical Products Ltd. Tooling Technologies
País	Reino Unido
Fecha	2005

Esta estructura, de sólo 3 centímetros de altura, fue producida para demostrar la reducida escala de trabajo que se puede obtener mediante la tecnología del fundido selectivo por láser (SLM).



Volúmenes de producción

Cada producto se fabrica de manera individual.

Precio unitario frente a inversión de capital

No hacen falta equipamientos mecánicos, pero el precio por unidad es elevado porque las piezas se hacen una a una.

Velocidad

Aunque se espera que el sinterizado selectivo por láser se acabe por emplear de un modo más generalizado en la fabricación de productos terminales, lo cierto es que de momento sigue siendo un proceso bastante lento y limitado a volúmenes pequeños. Por ello resulta óptimo para el prototipado.

Superficie

En la actualidad los productos presentan irregularidades de superficie de entre 20 y 30 micras, es decir, muy escasas.

Tipos/complejidad de la forma

La única limitación la impone la tecnología CAD que controla el proceso. La microestructura de los productos que fabrica la empresa Mining and Chemical Products ilustra el tipo de resultados que se obtienen a la hora de crear formas complejas.

Tamaño

Se puede conseguir detalles muy finos, como delgadas paredes verticales con un espesor de no más de una décima de milímetro. El tamaño global de las piezas está limitado por las dimensiones del depósito de polvos que puede alojar la máquina.

Tolerancias

Extremadamente altas.

Materiales relevantes

Cualquier material particulado que se emplee en la metalurgia de polvos: metales –incluidos acero y titanio– y plásticos.

Productos habituales

La técnica SLS, que esencialmente es una forma de prototipado rápido, se utilizó al principio para ensayar modelos antes de su fabricación. Sin embargo, los diseñadores están orientando esta tecnología hacia la fabricación de productos terminados. Más concretamente, este proceso puede usarse para fabricar un sinfín de objetos, desde piezas de joyería y disipadores de calor para ordenadores hasta implantes médicos y odontológicos.

Métodos similares

Otras tecnologías dirigidas por archivos CAD, entre ellas el prototipado por deposición (por ejemplo, la técnica llamada contour crafting, pág. 216), la estereolitografía (véase pág. 218) y la impresión tridimensional (por ejemplo, véase la impresión por chorro de tinta adaptada, pág. 214).

Información complementaria

www.mcp-group.com/index.html
<http://blogs.zdnet.com/emergingtech/?p=104>



- Sirve para crear productos ligeros pero de gran resistencia.
- Se adapta con facilidad a productos específicos.
- Se puede emplear con toda una gama de metales y materiales diversos.
- Es un sistema plenamente automatizado.



- Los costes unitarios son altos.

La primera fase del proceso consiste en la fabricación de una matriz o dado (generalmente de aluminio, aunque también se puede usar un polímero) que después pueda utilizarse repetidamente para obtener las réplicas en cera. Se fabrican a continuación patrones múltiples, que se montan en un canal de colada formando una estructura similar a la de un árbol. Este sistema se sumerge entonces en un barro líquido y se deja secar para formar una cáscara dura de

cerámica. La inmersión va repitiendo hasta que se haya acumulado un número de capas suficiente. A continuación se coloca el conjunto en un horno a fin de fundir la cera y poder deshacerse de ella en forma líquida antes de cocer las piezas. Cuando las cáscaras de cerámica han adquirido la resistencia necesaria, se vierte en su interior el metal fundido. Una vez enfriado el bloque, éste se rompe, se desecha la cerámica y se extraen las piezas individuales del árbol.

Volúmenes de producción

Dependiendo de su tamaño, es posible colocar en un árbol varios centenares de piezas pequeñas y fundirlas en una sola colada. Para objetos más grandes resulta necesario un árbol para cada pieza. La fundición por revestimiento permite producciones pequeñas (por debajo del centenar de unidades) y también tiradas de decenas de miles.

Precio unitario frente a inversión de capital

El maquinado es mucho más barato que el que se precisa para la fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195), lo que implica una inversión de capital más pequeña. Según cuál sea el tamaño del producto final, se pueden hacer moldes múltiples con el mismo árbol, lo que incrementa la rentabilidad del proceso.

Velocidad

La técnica es lenta y requiere completar una serie de pasos con cada producto individual.

Superficie

Buen acabado en superficie, aunque ello depende en buena medida de la propia superficie del patrón.

Tipos/complejidad de la forma

A diferencia de la fundición en matriz por inyección de alta presión, que requiere ángulos de inclinación lateral, los productos fabricados mediante fundición a la cera perdida pueden ser muy complejos desde

el punto de vista formal. Es la ventaja principal que posee este proceso en relación a otros métodos de conformado.

Tamaño

Amplio espectro de dimensiones, que oscilan entre los 5 milímetros de longitud hasta los 500 aproximadamente, o hasta 100 kilogramos de peso.

Tolerancias

Altas.

Materiales relevantes

Una gran variedad de metales ferrosos y no ferrosos.

Productos habituales

Muy numerosas, desde esculturas y estatuas hasta turbinas de gas, mosquetones de marinería, piezas de joyería e instrumental médico. Un ejemplo de gran sofisticación es la figura llamada «Espíritu del éxtasis» que corona el capó de los automóviles Rolls-Royce.

Métodos similares

Fundición en matriz por inyección de alta presión (véase pág. 195), fundición en arena (véase pág. 202) y vaciado centrífugo (véase pág. 143).

Información complementaria

www.polycast.co.uk

www.castmetalfederation.com

www.castingstechnology.com

www.pi-castings.co.uk

www.tms.org

www.maybrey.co.uk

«Mandriles inteligentes» (Smart Mandrels™) para bobinado de filamentos

Dentro del mundo de los materiales, lo más nuevo son las aleaciones y polímeros con memoria de forma. Se trata de elementos que se caracterizan por poderse «programar» para que adquieran una forma determinada. Una vez calentados y ablandados, se puede hacer que pierdan dicha forma y adopten otra nueva, que conservarán una vez enfriados. Lo interesante del caso es que cuando estos materiales se vuelven a calentar, el producto regresa a su forma original «programada».

La empresa Cornerstone Research Group —estadounidense y una de las compañías líderes mundiales en tecnología de la memoria de forma— ha aprovechado estos materiales para desarrollar un sistema patentado (Smart Mandrels™) cuyo objetivo es fabricar mandriles para el proceso de bobinado de filamentos (véase pág. 140). Este

sistema se puede usar de dos maneras: la primera consiste en configurar con una forma concreta un mandril dotado de memoria de forma única. Después, se emplea dicho mandril para fabricar los productos requeridos, y luego se recalienta, reconforma y reutiliza para que adquiera una forma distinta y pueda usarse en la fabricación de otro producto distinto. La segunda aplicación conlleva el conformado de un mandril complejo que, de no ser por esta tecnología, habría sido imposible extraer del interior del producto final debido a los rebajes.

El bobinado con estos mandriles inteligentes implica que el filamento se puede devanar alrededor del mandril, el cual se calienta y ablanda después para que retorne a la forma de tubo recto con la que fue «programado» al principio. Así hace posible retirar con facilidad el bobinado completo de los filamentos.



1 Comienza el bobinado sobre el mandril inteligente (Smart Mandrel™).

2 El mandril inteligente se calienta y se ablanda para que sea fácil extraerlo del bobinado completo.



Volúmenes de producción

De momento, esta patente sólo se utiliza para tiradas cortas y prototipos, pero se trata de un proceso reciente que servirá igualmente para la producción a gran escala, ya que los mandriles tienen una larga vida y pueden usarse para fabricar muchas piezas.

Precio unitario frente a inversión de capital

El sistema Smart Mandrels™ supone enormes ahorros en tiradas cortas. Ello se debe a que no es necesaria maquinaria multipieza de alto coste, mientras que el precio se mantiene al mismo nivel con producciones grandes.

Velocidad

Los tiempos de ciclo son de varios minutos para cada pieza. Aun así, el proceso es bastante más rápido que el bobinado de filamentos convencional con mandriles rígidos (véase pág. 140) porque no hay necesidad de montar y desmontar el mandril con cada pieza.

Superficie

No hace falta postacabado, pero las piezas tienen el aspecto característico de los productos fabricados por bobinado de filamentos.

Tipos/complejidad de la forma

La principal ventaja de este sistema patentado es que permite la producción de formas más complejas mediante el proceso del bobinado de filamentos. Dichas formas pueden incorporar rebajes y reentrantes normalmente imposibles de crear, ya que no se podía extraer el mandril del producto.

Tamaño

Se pueden construir máquinas capaces de generar bobinados de filamentos a escala enorme. Las únicas limitaciones de la escala las dicta el tamaño con el que es posible producir aleaciones y polímeros con memoria de forma sin perder efectividad.

Tolerancias

No es un proceso especialmente recomendable si se requieren tolerancias elevadas.

Materiales relevantes

Cualquier plástico termofraguado, así como fibra de carbono o vidrio.

Productos habituales

Componentes aeronáuticos, depósitos, cohetes y carcasas.

Métodos similares

Pultrusión (véase pág. 81) y moldeo por contacto (manual o por aspersión) (véase pág. 134).

Further

www.crgp.net/mandrels-processes.htm



- Sistema capaz de producir formas muy versátiles.
- Se reducen los costes de mano de obra por la facilidad con que se extrae el mandril.
- Herramientas reutilizables y adaptables.
- Es fácil retirar el mandril del producto.



- Todas las piezas tienen el aspecto típico de los productos fabricados por bobinado de filamentos.
- Disponibilidad limitada, ya que es un proceso patentado.

Conformado progresivo de chapa metálica

Una de las principales áreas de investigación en el mundo actual de la fabricación es la denominada «artesanía industrial». Se trata de un término que abarca diversas tecnologías con un enfoque muy flexible de la producción en masa, por cuanto eliminan la necesidad de maquinaria especializada. Así, el conformado progresivo (o incremental) de chapa metálica posee el potencial de revolucionar el conformado de chapa al posibilitar su empleo con producciones cortas de piezas individualizadas.

En esencia, esta técnica es una suerte de prototipado rápido para chapa. Gracias a un indentador móvil podemos labrar casi cualquier forma de concha tridimensional sin necesidad de equipamiento especializado. En realidad, es un proceso que engloba una serie de métodos de conformado de metales que tienen en común la

utilización de una herramienta genérica de una sola punta. Ésta presiona una chapa de metal a lo largo de tres ejes (la pieza de trabajo permanece retenida por una prensa de sujeción) y así va labrando una concavidad siguiendo la trayectoria marcada por un archivo CAD.

El proceso lleva usándose 15 años, aunque su potencial aún no lo ha desarrollado la industria de modo generalizado, sobre todo por culpa de la dificultad que entraña garantizar la precisión geométrica de la pieza conformada. No obstante, la marca



muestra de chapa sometida a conformado progresivo	
Producto	
Materiales	acero inoxidable
Fabricante	muestra producida por el Institute for Manufacturing (Departamento de Ingeniería, Universidad de Cambridge)
País	Reino Unido
Fecha	2006

Los investigadores Julian Allwood y Kathryn Jackson, de la Universidad de Cambridge, son dos de entre los muchos que en el panorama internacional buscan modos de desarrollar este proceso para ampliar sus usos industriales. El escalonado que se aprecia en esta muestra ilustra la trayectoria de la herramienta a medida que va trazando una ruta a lo largo de la chapa metálica, a la que da forma lentamente.



Volúmenes de producción

El proceso de conformado progresivo de chapa metálica, cada vez más conocido, resulta atractivo porque ofrece la posibilidad de fabricar lotes pequeños a un coste asequible. De hecho, ya se ha utilizado en la producción de prototipos (entre ellos uno de un coche de la marca Toyota). Otras aplicaciones, como la fabricación de prótesis dentales, donde cada producto es único, ya se van generalizando.

Precio unitario frente a inversión de capital

La ventaja evidente de este proceso reside en el hecho de que posibilita la producción de volúmenes bajos con costes de equipamiento y montaje muy reducidos.

Velocidad

Las velocidades de avance habituales pueden alcanzar los 50 milímetros por segundo, mientras que la fabricación de una pieza normal requerirá entre 20 minutos y una hora en función de la calidad de superficie que se pretenda.

Superficie

Depende del tamaño del escalón entre las pasadas sucesivas de la herramienta. Un escalón de unos 0,1 milímetros dará una superficie clase-A (según la escala de los fabricantes de carrocerías). También es posible mejorar la superficie usando moldes.

Tipos/complejidad de la forma

Dependen de si se usa o no troquel, pero las piezas van a tener siempre forma de concha. Eso sí: en el futuro próximo se construirán máquinas equipadas con indentadores superiores e inferiores para resolver este problema.

Tamaño

Aunque los productos habituales vienen a ser de unos 150-300 milímetros cuadrados con un grosor medio de 1 milímetro, hay investigadores en Japón capaces de conformar piezas que oscilan entre unos pocos milímetros y dos metros de longitud.

Tolerancias

Dependen de si se usa troquel o no. En un primer intento la precisión geométrica puede ser pobre (con desfasos de 2-5 milímetros) si bien la trayectoria de la herramienta se limite a trazar contornos muy sencillos a partir de un modelo CAD. Esto se puede mejorar, aunque los tanteos son inevitables. Evidentemente, la precisión se incrementa bastante si se usa un troquel.

Materiales relevantes

Hay una amplia gama de materiales que se adaptan a esta técnica. Entre ellos, una selección de aleaciones de aluminio y acero, así como el acero inoxidable, el titanio puro, el latón y el cobre.

Productos habituales

Varias aplicaciones se aprovechan del potencial de este proceso para la producción de piezas individuales. Así, la fabricación y reparación de paneles de carrocería para automóviles, prótesis y dispositivos médicos individualizados y paneles arquitectónicos.

Métodos similares

Las raíces de este proceso están en el torneado de metales (véase pág. 48), aunque es evidente que este desarrollo presenta ventajas mucho mayores en lo relativo al prototipado rápido y flexibilidad de fabricación. Otro método estrechamente emparentado con éste es la embutición (véase el corte de metales, pág. 51).

Información complementaria

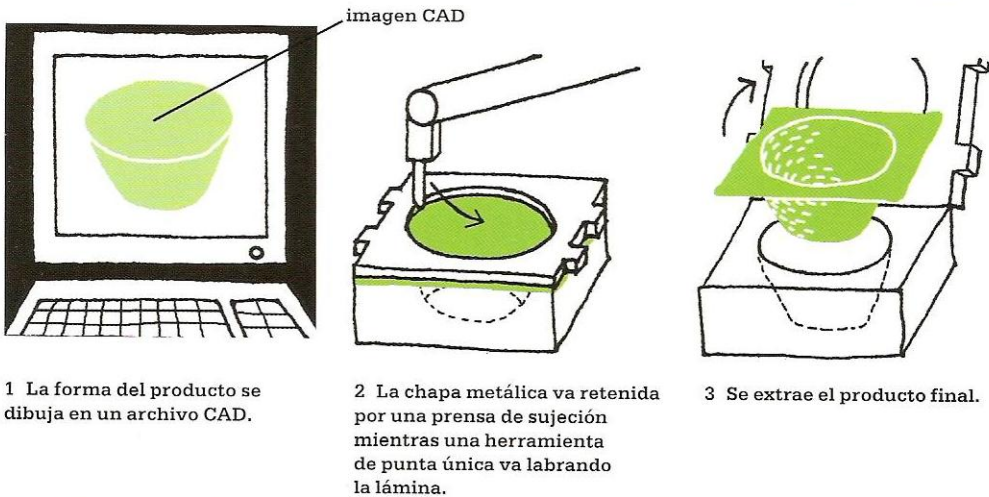
www.ifm.eng.cam.ac.uk/sustainability/projects/incremental

Toyota ha explorado este proceso de cara al conformado de piezas para sus prototipos de coche utilizando un troquel de una cara, para de esta forma obtener un mayor control.

Hay una serie de investigadores que en la actualidad indagan en las distintas variantes de este proceso. Algunos utilizan, por ejemplo, herramientas con dos indentadores al mismo tiempo, uno a cada lado de la pieza de trabajo. También se pueden usar troqueles negativos y positivos para aumentar el control de la precisión geométrica y del acabado de la superficie.



Este primer plano nos muestra la herramienta de una sola punta descendiendo sobre la chapa amordazada y lista para el conformado.



- La principal ventaja de este proceso es su capacidad de producir formas complejas con una herramienta genérica, lo que en última instancia significa que no hay costes de maquinaria o montaje del dispositivo de producción para la fabricación de piezas individuales o de volúmenes pequeños.



- Disponibilidad limitada.
- Tecnología aún en sus comienzos.

«Mandriles inteligentes» (Smart Mandrels™) para bobinado de filamentos

Dentro del mundo de los materiales, lo más nuevo son las aleaciones y polímeros con memoria de forma. Se trata de elementos que se caracterizan por poderse «programar» para que adquieran una forma determinada. Una vez calentados y ablandados, se puede hacer que pierdan dicha forma y adopten otra nueva, que conservarán una vez enfriados. Lo interesante del caso es que cuando estos materiales se vuelven a calentar, el producto regresa a su forma original «programada».

La empresa Cornerstone Research Group—estadounidense y una de las compañías líderes mundiales en tecnología de la memoria de forma—ha aprovechado estos materiales para desarrollar un sistema patentado (Smart Mandrels™) cuyo objetivo es fabricar mandriles para el proceso de bobinado de filamentos (véase pág. 140). Este

sistema se puede usar de dos maneras: la primera consiste en configurar con una forma concreta un mandril dotado de memoria de forma única. Después, se emplea dicho mandril para fabricar los productos requeridos, y luego se recalienta, reconforma y reutiliza para que adquiera una forma distinta y pueda usarse en la fabricación de otro producto distinto. La segunda aplicación conlleva el conformado de un mandril complejo que, de no ser por esta tecnología, habría sido imposible extraer del interior del producto final debido a los rebajes.

El bobinado con estos mandriles inteligentes implica que el filamento se puede devanar alrededor del mandril, el cual se calienta y ablanda después para que retorne a la forma de tubo recto con la que fue «programado» al principio. Así hace posible retirar con facilidad el bobinado completo de los filamentos.



1 Comienza el bobinado sobre el mandril inteligente (Smart Mandrel™).

2 El mandril inteligente se calienta y se ablanda para que sea fácil extraerlo del bobinado completo.

Glosario

ángulo de inclinación lateral

Se refiere al ahusamiento que hay incluir en el diseño de piezas con muchos procesos de moldeo. Por lo general es una leve angulación que permite expulsar las piezas del molde con facilidad.

ángulos entrantes Véase rebajes.

axilimétrica Se dice de una forma tridimensional que es simétrica en torno a un único eje. Un ejemplo típico sería un cono.

bar Término utilizado en la industria para describir la presión en el interior de un recipiente. 1 bar es igual a 14,504 libras por pulgada cuadrada (psi), 0,98692 atmósferas de presión o 100.000 pascuales (Pa).

bebedero Marca ahusada de plástico que queda pegada al producto después del moldeo por inyección o compresión. Es una rebaba que deja el canal del mismo nombre por el que el plástico fluyó al interior del molde desde la boquilla. En piezas moldeadas de bajo precio se aprecia el punto donde se ha cortado este defecto.

bizcocho Pieza de cerámica cocida pero no esmaltada. La cocción se realiza a unos 1.000 °C. Un «bizcocho» de cerámica es poroso.

CAD Diseño Asistido por Ordenador.

canales de colada El conducto tubular en cuyo interior se vierte el metal durante el proceso de fundición. Véase también mazarotas.

composites (materiales compuestos) Materiales que constan de dos o más ingredientes. El término se suele utilizar para referirse a materiales con propiedades avanzadas y fabricados a base de una combinación de resinas poliméricas y fibras.

compuerta Éste es un término que se menciona con bastante frecuencia en relación al moldeo de plásticos. Se refiere al orificio a través del cual penetra en la cavidad del molde el plástico fundido y caliente.

conformado en frío Trabajos y operaciones de conformado de metal y vidrio que se efectúan a una temperatura inferior a la de recristalización del material o, dicho en otras palabras, que no requieren el uso de calor. Véase también endurecimiento de metales.

conformado sólido Un término genérico que se usa para describir el procesamiento de materiales a una temperatura que suele ser la temperatura ambiente. Incluye, por ejemplo, la extrusión por impacto y el estampado por rotación.

corte con desprendimiento de viruta (desbastado) Comprende varios métodos para la fabricación de productos que durante el proceso de corte desprenden fragmentos o virutas del material. Un ejemplo típico sería el fresado. Véase también corte sin desprendimiento de viruta.

corte sin desprendimiento de viruta Término empleado para referirse a métodos de corte que no forman virutas del material. Se trata de métodos muy limpios entre los que, por ejemplo, se incluyen el corte por láser o por chorro de agua, en los que el material se perfora o vaporiza sin dejar «virutas».

CNC Control Numérico Computerizado.

cuarteo Imperfección del esmalte de una pieza de cerámica que se presenta en forma de un fino agrietamiento.

dado Los términos «dado», «matriz» y «molde» son prácticamente intercambiables, pues se refiere a una forma, por lo general de acero, que se utiliza como cavidad en cuyo seno se agrega el material y que confiere su propia forma al producto. Véase también equipo de maquinado.

desbarbado de cerámica Operación final de limpieza de una pieza cerámica antes de su cocción.

desgasado Término utilizado para referirse a la emisión de un gas volátil durante el procesamiento de plásticos (por ejemplo en el moldeo por inyección). Hay muchas técnicas bien conocidas para la extracción de estos gases.

endurecimiento de metales La mejor manera de explicar este fenómeno consiste en decir que cuando se dobla (o «conforma») una pieza de metal de forma continua, dicha pieza se va endureciendo progresivamente, lo que dificulta su doblado cada vez más, hasta que por fin se rompe. Véase también conformado en frío.

entallado en torno Es lo mismo que torneado, aunque el término se suele limitar al contexto del conformado de metales.

equipo de maquinado Término genérico (también se habla de mecanización, maquinaria herramienta, equipamiento mecánico, etcétera) que, *grosso modo*, se refiere a la parte del dispositivo de producción que tiene que ver con el molde (véase más abajo). No obstante, esta designación no se refiere únicamente al molde macho o hembra, sino al mecanismo completo que está en contacto con el material, sean moldes, herramientas de corte o cualquiera otra herramienta conformadora.

estado «en verde» El estado físico, húmedo y semiduro, que tiene un objeto de cerámica antes de su cocción.

expansión térmica La mayoría de los materiales se expanden al ser calentados y se contraen al enfriarse. La expansión térmica se define como la relación entre el aumento de temperatura y el aumento en las dimensiones del material.

fabricación metalúrgica En su sentido técnico y en el campo de la metalurgia, se usa a veces el término «fabricación» para describir el proceso de construcción de productos mediante montaje y ensamblado de piezas distintas, y no tanto en el sentido de pura producción o manufactura mediante, por ejemplo, moldeo o fundición en operaciones únicas.

gota Término utilizado en el moldeo del vidrio por soplado para referirse a una cantidad discreta de vidrio fundido que tiene forma de «chorizo» en el momento anterior a su introducción en un molde y soplado consiguiente.

horma (o plantilla) En el mundo de la producción industrial, una horma es una estructura que se utiliza para controlar o restringir

el movimiento de un producto o material mientras se está conformando, montando o encolando.

líneas divisorias Fina línea que queda en la superficie de la pieza tras el moldeado y que se exhibe con orgullo. Básicamente, indica el lugar donde se han separado las dos partes de un molde. También se llaman líneas testigo.

líneas testigo Véase líneas divisorias.

mandril Se suele utilizar en el torneado de metales para describir la forma sólida contra la que se hace girar la chapa metálica para conseguir la geometría deseada.

marcas de asentamiento

Un problema frecuente, y por lo general de fácil solución, del moldeado por inyección. Sucede cuando un plástico que se quiere conformar como una superficie plana muestra una leve hundimiento o depresión: el «asentamiento». Normalmente, la causa de este fenómeno es la contracción local del material del que está hecho el producto.

materiales refractarios

Materiales que resisten las temperaturas muy altas y que se usan en los hornos de cocción. Muchas cerámicas son refractarias.

matriz Cuando se usan materiales compuestos (composites), material al que se añaden las fibras (normalmente un polímero líquido).

mazarotas Término utilizado en la fundición de metales para describir una especie de tubos que hay en el molde y que actúan como depósitos de reserva. De ellos se puede extraer metal fundido para contrarrestar la contracción que se da durante este proceso una vez que el metal se enfría y solidifica. Véase también canales de colada.

micrón (micrómetro o micra) Milésima parte de un milímetro.

post- (operaciones post-proceso) A cualquier proceso que tenga lugar después de las operaciones principales de la producción se le designa con el prefijo «post». Así, por ejemplo, el postacabado y el postconformado o postmecanizado.

pestaña Resalte o brida, por lo general de forma recta, que se localiza en el borde de una pieza metálica. Su función es conferir rigidez a dicha pieza y facilitar su unión con otra.

plegado CNC Proceso utilizado para crear formas huecas tridimensionales mediante el plegado y doblado de una lámina plana de material. Pensemos, por ejemplo, en el estuche metálico en el que un niño guarda sus pinturas de madera.

polímeros de ingeniería

Materiales plásticos de alto rendimiento, por ejemplo nailon, acetilos y elastómeros termoplásticos (TPE). Compárese con polímeros de uso común (commodities).

polímeros de uso común

(commodities) Estos materiales tienen un rendimiento mecánico inferior al de los polímeros de ingeniería (véase superior) e incluyen el polipropileno y el polietileno.

preforma Se usa sobre todo en el moldeado por soplado para describir un producto semiformado y moldeado por inyección antes de concluir el proceso de moldeado. Viene a ser el producto en su fase embrionaria.

profundidad de embutición

Producto hecho mediante la acción prolongada de un punzón o estampa que fuerza al material a discurrir por una barra hueca de cierta profundidad. La extrusión por impacto es un ejemplo de un proceso que conlleva una embutición profunda.

psi Unidad de presión. Quiere decir «libras por pulgada cuadrada». Véase también bar.

rebaba Borde tosco y con frecuencia afilado que queda en una pieza de metal después de su corte, fundición o perforado. Aunque es una consecuencia muy secundaria de los diversos métodos de fabricación, se nota lo suficiente como para que haya empresas dedicadas expresamente al rebabado de metales en sus muchas variantes.

rebajes Éste es un término muy común que se utiliza en muchos procesos de moldeado para describir detalles en la forma de un producto que dificultarían su extracción del molde. También

se les suele denominar ángulos entrantes.

recocido Proceso empleado para reducir las tensiones en un material mediante la aplicación controlada de calor. Conlleva un calentamiento y/o enfriamiento lentos del vidrio o del metal en el interior de un horno de templado (o recocido) al objeto de relajar las tensiones internas del material.

resistencia a la tracción Cuando se estira un material para aumentar su longitud y reducir consiguientemente su sección transversal, la resistencia a la tracción es la cantidad de tensión que dicho material puede soportar.

revestimiento de gel Un término específico del mundo de los materiales compuestos (composites) que se refiere a un recubrimiento de fraguado rápido aplicado a la cara interior de un molde al objeto de conseguir un acabado de la superficie muy satinado y resistente.

sustrato Palabra que se suele usar para describir una superficie de material sobre la que se aplica una segunda capa de otro. Es algo así como el material base.

templado El propósito del templado es reducir la dureza del acero aliviando las tensiones del material. Es un proceso que conlleva el calentamiento del acero hasta que alcanza una temperatura por debajo de su rango de transformación, para a continuación enfriarlo lentamente al aire.

termofraguados Plásticos que ya no pueden recalentarse o remodelarse una vez conformados. También se los denomina plásticos termofragantes. Compárese con termoplásticos.

termoplásticos Junto con los termofraguados, los termoplásticos constituyen una de las principales categorías en las que se clasifican los plásticos. A diferencia de los termofraguados, los plásticos termoformados pueden recalentarse y remodelarse a continuación.

tocho En ingeniería, trozo sólido de acero del que se fabrican vástagos, barras y secciones.

Índice

acero

conformado de chapa metálica 44-45
conformado por explosión 59-61
conformado progresivo de chapa metálica 229-231

corte con oxiacetileno 42-43
corte de arco eléctrico con plasma 27-31

corte de metales 51-52
corte por chorro de agua 36-37
corte por control numérico computerizado (CNC) 15-17
corte por láser 40-41

dureza del 38
estampado por rotación 88-89
forja 169-171

fresado químico 32-33
hidroconformado 125-127
inflado 62-63

mecanizado 12-14
mecanizado por descarga eléctrica (EDM) 38-39

mecanizado por haz de electrones (EBM) 18-19

moldeo por inyección de metales (MIM) 192-194

perfilado por rodillos 86-87
prensado isostático en caliente (HIP) 152-153

torneado de metales 48-50
tricotado de alambre preondulado 90-93

vaciado centrífugo 143-145

aceros endurecidos

moldeo por inyección de metales (MIM) 192-194

Acme Thunderer, silbato 44

Acme Whistles (Reino Unido) 44

Air Chair 183

Air Switch, lámpara de matraz 98

alambre preondulado, tricotado de 90-93

aleaciones

conformado por explosión 59-61
extrusión 78-80
extrusión inversa (hacia atrás) por impacto 128-130

forja 169-171
fundición en arena 202-204
fundición en matriz por inyección de alta presión 195-197
fundición por revestimiento 198-201

moldeo por inyección de metales (MIM) 192-194

alfarería industrial 23-26

30
Alias (Italia) 163-164

Allwood, Julian 229

Aluminio, superformado de 56-58

anilla, sistema de apertura para lata de bebida 51-52

Apple, diseño 80-86

Apple iMac, pie de soporte en aluminio 86

Apple, reproductor de audio digital iPod Shuffle 80

Arad, Ron 58

árboles 94

véase también madera

contrachapada; chapas

de madera; madera

arena, fundición en 202-204

Arola, Antoni 94

artesanía industrial 229

aspersión, moldeo por 134-135

autoclave, moldeo en 138-139

bandejas

para caja de bombones 53

para comida 70

bañera, gama «Loo» 208

baquelita 156

barrenado 12

Barthes, Roland 178

Bengston, Mathias 140

BIC (Francia) 179

BIC Cristal, bolígrafo 179

Bich, Marcel 179

bicicleta, MN01 57

Black Honey, frutero 218

Blumer, Riccardo 163-165

de filamentos 140-142

helicoidal 140

polar 140

húmeda, prensado 154

bolsa seca, prensado 154

Bosch 154

botella,

Kikkoman 102

Sigg 128

Brighton (Reino Unido), Universidad 166

brochado 14

bronce 150

bujía 154

Bunte, Amelie 125

burbuja, moldeo por 56-57

butaca superredonda 40

Buxton, Sam 32

C1, silla 220

cabeceado *véase* recalcado 170

CAD, archivos 8, 13, 16-20, 28, 32-43, 213-231, 224

calandrado 74-75

Cambridge (Reino Unido), Universidad 229

Campbell, Louise 36, 40

Cantu, Homaro 214

cañerías *véase* tuberías

carburos 38

carbono, fibras de refuerzo 134

carbono hilado, silla 140

carnero, método de corte EDM 38

cáscara, fundición 203

caucho, lámina 74

cavidad, conformado por 56-57

centrifugación 143

Ceram Research 208

cerámicas

alfarería industrial 23-26

corte por chorro de agua 36-37

jiggering y jollyng 23-26

moldeo por compresión 156-157

prensado isostático en caliente 152-153

prensado isostático en frío 154

procesado viscoplastico (VPP) 210-211

sinterizado 150

torneado 20

vaciado a presión 122-124, 208

chapa, material *véase* planchas 30-71

chapa metálica, conformado 44-45

chapas de madera

corte 94-95

laminado cruzado 64

muebles 163

Chorchoj, Olgoj 100

Cinderella, mesa 15-16

cizallamiento 51

CNC Auto Motion (EE UU) 16

coextrusión-soplado, moldeo por 114

cojines de acero inoxidable inflado 62

colada 122-124, 208

al vacío 219

componentes

complejos *véase* piezas complejas 176-211

de ingeniería 192

de muestra 174

electrónicos *véase* productos

electrónicos

huecos con secciones

de pared delgadas 32-71

composites

bobinado de filamentos 140

fibras de refuerzo 81

moldeo en autoclave 138

moldeo por contacto 134

moldeo por inyección-reacción 181

- moldeo por transferencia 158
proceso de infusión al vacío 136
Pulformado (Pulshaping™) 84
compresión, moldeo por 156-157
- conformado
de chapa metálica 44-45
por bolsa de vacío 134-135
por bolsa de presión 134-135, 138
por contacto 59
progresivo de chapa metálica 229-231
tridimensional profundo, madera contrachapada 67-69
contacto, conformado por 59
contacto, moldeo por 134-135
contour crafting 216-217
- contrapresión, moldeo por 56-57
control numérico computerizado (CNC), corte por 15-17
Cornerstone Research Group (EE UU) 227
corte
de arco eléctrico con plasma 27-29
de metales 51-52
de pieza sólida 10-19
por chorro de agua 36-37
rotatorio 94
térmico 27, 42
cuchillo, gama Kyotop 152
Curvy Composites (Reino Unido) 166
- dado cerrado, forja con 169-171
David Design (Suecia) 202
Davy, Sir Humphrey 146
decoración 38, 188-191
en molde 188-189
Demakersvan (Holanda) 15-16
destornillador, Stanley DynaGrip Pro[®] 185
diafragma, moldeo con 56-57
Dixon, Tom 78
doblado 51
madera contrachapada 64-66
dos ciclos, moldeo véase multicomponentes
drapeado 54
- E-Go, ordenador portátil 190
Eastman Chemical Company 79
Ekuan, Kenji 102
«El espíritu del éxtasis», figura decorativa para capó de automóvil 198
- electroconformado 146-147
micromoldes 22-223
electroerosión véase mecanizado por descarga eléctrica (EDM) con electrodo de hilo metálico
Elica, silla plegable 64
embalajes
troquelado 34
chapa 30
embutición 51
empalme de acero, sistema de pasamanos 125
enchufe eléctrico 156
entallado en torno, metal 48-50
entalladura 28
- escariado 14
espuma, moldeo de 160-162
en carcasa de madera contrachapada 163-165
espuma plástica expandida 160
moldeo de espuma 160-162
moldeo de espuma en carcasa de madera contrachapada 163-165
moldeo por inyección-reacción 181-182
estado sólido, procesos de conformado 148-175
estampado 51-52
plano 88
por rotación 88-89
estereolitografía (SLA) 218-221
explosión, conformado por 59-61
exprimidor de limones 205
extrusión 78-80
directa (hacia delante) por impacto 128-130
inversa (hacia atrás) por impacto 128-130
por impacto 128-130
soplado, moldeo por 114-115
- Faraday, Michael 116
Fiam Italia (Italia) 46
fibras 81
refuerzo 134
Fibre Force (Reino Unido) 81
figura decorativa para capó de automóvil, «El espíritu del éxtasis» 198
Flexiform 208
flujo continuo de material 72-95
forja 169-171
con prensa 170
con sinterizado véase forja pulvimetalúrgica
por gravedad véase dado cerrado pulvimetalúrgica 172-173
radial véase estampado por rotación
- Foster, Norman 58
Franzheid, Robert 125
Fraunhofer, Instituto (Alemania) 20, 174
fresado 14
químico 32-33
Fresh Fat, gama de muebles y accesorios 78-80
frutero, Black Honey 218
Full Blown Metals (Reino Unido) 62
fundición
a la cera perdida véase fundición por revestimiento
centrífuga véase vaciado centrífugo
en arena 202-204
en cáscara 203
en matriz por inyección de alta presión 195-197
por revestimiento 198-201
fundido selectivo por láser (SLM) 224
- Galen, Marcel van 190
globo 116
molde para hacer 116
grabado al ácido véase fresado químico
Grito, pantalla de lámpara 48
Gubi (Dinamarca) 67
Gubi, silla 67
- Hay (Dinamarca) 36
herramientas de corte 11
de metales 125-127
«High Funk», patas para mesa 202
Holdcroft, Harold 210
hormigón 216
husillo estacionario, estampado por rotación 88-89
- Ideal Standard (Reino Unido) 208
implantes médicos (placa de cadera) 18
impresoras 214
sobremesa 214
inflado
de maderas 166-168
de metales 62-63
infusión al vacío véase proceso de infusión al vacío (VIP)
inmersión, moldeo por 116-118
inserto, moldeo con 185-187
Inclosia Solutions 190
inyección
de agua, tecnología WIT 178
con gas, moldeo por 183-184
de metales (MIM), moldeo por 192-194
reacción (RIM), moldeo por 181-182
reacción estructural (S-RIM), moldeo por 181
reacción reforzada (R-RIM), moldeo por 181
soplado, moldeo por 111-113
iPod Shuffle, Apple 80
Ito, Setsu y Shinobu 46
- Jackson, Kathryn 229
jarrones de vidrio muy fino 100
jigging véase torneado exterior de materiales cerámicos
jollyng véase torneado interior de materiales cerámicos
Jordan, Malcolm 7, 166
Jouin, Patrick 220
- Karkov, Simon 35
Khoshnevis, Behrokh 216
Kikkoman, botella 102
Kikkoman Corporation (Japón) 102
King Dick Tools (Reino Unido) 169
Kyocera (Japón) 152
«Kyotop», gama de cuchillos 152
- «Laleggera», gama de sillas 163
cruzado de chapas de madera 64
lámpara de matraz, Lapalma (Italia) 64
láser,
corte 40-41
estereolitografía 218-221
fundido selectivo 224
mecanizado 40
prensado isostático en caliente 152-153
sinterizado selectivo 224-226
lata de bebida, sistema de apertura de anillo 51-52
Leonardo, pantalla de lámpara 94
Levy, Ark 218

- ligantes 192-193
 linterna, Mini Maglite® 12
 llama de gas, corte por *véase* oxiacetileno
 llama de gas, soldadura por *véase* oxiacetileno
 llave de tuercas 169
 longitud continua *véase* flujo continuo
 «Loc», gama de bañeras 208
 «Lotus Europa», Matchbox 195
 Louis-Jensen, Toby 57
 Ludvik, Gudmund 64
- maderas
 inflado 166-168
 torneado 20
véase también árboles; chapas de madera; madera contrachapada
 madera contrachapada
 conformado tridimensional profundo 67-69
 corte de chapa 94-95
 corte por láser 40-41
 doblado 64-66
 Jordan 166
 prensado 70-71
 y moldeo de espuma 163-165
 Magis (Italia) 183
 Maglica, Anthony 12
 Maglite Instruments Inc (EE UU) 12
 Maglite®, linterna Mini 12
 malla metálica para usos arquitectónicos 90
 «mandriles inteligentes» (*Smart Mandrels™*) 213, 227
 mano de mortero 20
 Mari, Enzo 161
 Matchbox (Reino Unido) 195
 materiales compuestos *véase* *composites*
 Materialise (Holanda) 218
 Mathmos (Reino Unido) 48, 98
 Matsui, Yoshiyuki 152
 mecanizado 12-14
 hidrodinámico *véase* corte por chorro de agua
 por chispa *véase* mecanizado por descarga eléctrica (EDM) con electrodo de hilo metálico
 por descarga eléctrica (EDM) con electrodo de hilo metálico 38-39
 por haz de electrones (EBM) 18-19
 por rayo láser 40
 memoria de forma, tecnología 227
 menú comestible 214
 mesas
 Cinderella 15-16
 Tiki, mesita 46
 Metal Injection Mouldings Ltd. (Reino Unido) 192
 metales
 cilindros 143
 conformado de chapa 44-45
 conformado progresivo de chapa metálica 229-231
 corte 51-52
 corte con oxiacetileno 42-43
 corte de arco eléctrico con plasma 27-29
 corte por control numérico computerizado (CNC) 13, 15-17
 corte por láser 40-41
 electroconformado 146-147
 estampado por rotación
 extrusión 88-89
 inversa (hacia atrás) por impacto 128-130
 forja 169
 pulvimetalúrgica 172-173
 fresado químico 32-33
 fundición en arena 202-204
 fundición en matriz por inyección de alta presión 195-197
 fundición por revestimiento 198-201
 hidroconformado 125-127
 inflado 62-63
 mecanizado 12-14
 por descarga eléctrica (EDM) con electrodo de hilo metálico 38-39
 por haz de electrones (EBM) 18-19
 moldeo por inyección de metales (MIM) 192-194
 perfilado por rodillos 86-87
 prensado isostático en frío 154-155
 resistentes al corte 38
 sinterizado 150-151
 superformado de aluminio 56-58
 torneado 20-22
 tricotado de alambre preondulado 90-93
 micromoldeo 222-223
 Mikroman, tarjeta comercial 32
 Mimotec (Suiza) 222
 Mini Maglite®, linterna 12
 Mining and Chemical Products Ltd. (Reino Unido) 224-225
 MK Electric 156
 MN01, bicicleta 57
 mobiliario *véase* muebles
 moldeo
 al soplete 100-101
 con diafragma 56-57
 con inserto 185-187
 de espuma 160-162
 de espuma en carcasa de madera contrachapada 163-165
 de multicomponentes 185
 de pasta de papel 131-133
 en autoclave 138-139
 en basto, pasta de papel 131-133
 manual 134-135
 por aspersión 134-135
 por burbuja 56-57
 por contacto 134-135
 por coextrusión-soplado 114
 por compresión 156-157
 por contrapresión 56-57
 por extrusión-soplado 114-115
 por inmersión 116-118
 por inyección con gas 183-184
 por inyección de metales (MIM) 192-194
 por inyección-reacción (RIM) 181-182
 por inyección-reacción estructural (S-RIM) 181
 por inyección-reacción reforzada (R-RIM) 181
 por inyección-soplado 111-113
 por prensado y soplado 106-108
 por soplado 109-110
 por soplado y resoplado 102-105
 por transferencia 158
 por vacío 53-55
 rotativo 119-121
 Morrison, Jasper 183
 Moto, restaurante (EE UU) 214
 muebles
 «Fresh Fat» 78-80
 contrachapados 163
 laminados 30
 muescado 51
 multicomponentes, moldeo de 185
 nanoescala, componentes 222
 Naunheim, Karsten 125
 Neville & Sons 70
 nuevas tecnologías 212-231
 Newby, Stephen 62
 Newson, Marc 57-58, 208
 Norm 69, pantalla de lámpara 35
 Normann Copenhagen (Dinamarca) 35
 ordenador portátil, E-Go 190
 panel para puerta 166
 paneles
 de carrocería, autobús 158
 metálicos decorativos 92
 pantallas de lámpara
 Grito 46
 Leonardo 94
 Norm 69 35
 papel
 calandrado 74
 moldeo 131-133
 pasamanos, sistema de barra tipo T 125
 pasta de papel, moldeo de 131-133
 patas para mesa, «High Funk» 202
 perfilado por rodillos 86-87
 perforado 51
 pie de soporte en aluminio de iMac, Apple 86
 piezas complejas 176-211
 placa de cadera 18
 planchas, material y productos 30-71
 plásticos
 bobinado de filamentos 140-142, 227-228
 calandrado 74-75
 componentes 53
 corte por chorro de agua 36-37
 corte por control numérico computerizado (CNC) 13, 15-17
 decoración en molde 188-189
 estereolitografía (SLA) 218-221
 extrusión 78-80
 lámina 74
 «mandriles inteligentes» (*Smart Mandrels™*) 227-228
 mecanizado 12-14
 moldeados 176
 moldeo con inserto 185-187
 moldeo de espuma 160-162
 moldeo de espuma en carcasa de madera contrachapada 163-165
 moldeo en autoclave 138-139
 moldeo por contacto 134-135

- moldeo por inmersión 116-118
 moldeo por inyección 178-180
 moldeo por inyección-reacción (RIM) 181-182
 moldeo por inyección con gas 183-184
 perfilado por rodillos 86-87
 moldeo por soplado 109-110
 moldeo por transferencia 158
 moldeo rotativo 119-121
 proceso de infusión al vacío (VIP) 136
 prototipado por vaciado de precisión (Precise-Cast Prototyping o pcPRO®) 174-175
 pulformado (Pulshaping™) 84-85
 pultrusión 81-83
 sinterizado 150-151
 sobremoldeo 190-191
 soplado de película plástica 76-77
 termoformado 53-55
 termofraguados 156
 termoplásticos 183
 troquelado 34
 versatilidad 210
- plato, Wedgwood 122
 Polar 8810i, pulsómetro 188
 Polar (Reino Unido) 188
 polipropileno expandido (EPP) 160-161
 Pollock, silla 119-120
 Polycast Ltd. (Reino Unido) 198
 polvos de metal y su conversión al estado sólido 148-175
 Potter & Soar (Reino Unido) 90
 prensado
 de madera contrachapada 70-71
 del vidrio 205-207
 en matriz y sinterizado 150
 isostático en caliente (HIP) 152-153
 isostático en frío (CIP) 154-155
 y soplado, moldeo por 106-108
 preondulados véase alambre preondulado
 Prince, silla 36
 procesado viscoplastico de cerámicas (VPP) 210-211
 proceso de infusión al vacío (VIP) 136
 procesos
 con desprendimiento de viruta 12, 51
 sin desprendimiento de viruta 51
 productos electrónicos 188
 prototipado por vaciado de precisión (Precise-Cast Prototyping o pcPRO®) 174-175
 prototipado rápido 174, 218, 224
 pulformado (Pulshaping™) 84-85
 pulsómetro, Polar 8810i 188
 pultrusión 81-83
 pulvimetalurgia 149-150, 152, 172
 PVC, lámina 74
- recalcado 170
 recipiente de orina desechable 131
 recortado 51
 refuerzo de fibra en plásticos 134
 Reholz® 67
 reposado del vidrio 46-47
 resinas 134, 181
- resinas termofraguadas 134, 181
 Rexam (Reino Unido) 51
 repujado cortante 50
 Robinson, Charles 198
 robot, moldeo con inserto 185-186
 rodillos, perfilado por 86-87
 roscado 12
 rotación, estampado por 88-89
 rotomoldeo véase moldeo rotativo
 Royal Doulton (Reino Unido) 210
- Saloga, André 125
 Santa & Cole (España) 94
 sección de pared delgada en
 componentes huecos 96-147
 sección en T, sistema de pasamanos 125
 seccionamiento 94
 Seggiolina Pop, silla 160-161
 Sigg (Suiza) 128
 Sigg, botella 128
 silbatos
 Acme Thunderer 44
 silicato-CO₂, fundición en arena 202-204
 sillas
 Air Chair 183
 C1 220
 de carbono hilado 140
 Elica, plegable 64
 Gubi 67
 «Laleggera», gama 163
 Pollock 119-120
 Prince 36
 Seggiolina 160-161
 sinterizado 150-151, 224
 por chispa 150
 selectivo por láser (SLS) 224-226
 sin presión 150
 Smith, William 119
 soplado
 de película plástica 76-77
 manual del vidrio 98-99
 moldeo por 109-110
 técnica del 62
 y resoplado, moldeo del vidrio por 102-105
 soplete, tubo de vidrio 100-101
 «stand off», conformado por explosión 59
 Stanley DynaGrip Pro®, destornillador 185
 Ströh, Anette 125
 Superform Aluminium (Reino Unido) 57
 superformado de aluminio 56-58
- taladrado 12-14
 tarjeta comercial, Mikroman 32
 tarros, vidrio 106
 taza de té, gama «Old Roses» 210
 tecnologías avanzadas 212-231
 Teflón 150
 tejidos industriales 90
 tereftalato de polietileno (PET) 111
 termoformado 53-55
 con pisadores 54
 termofraguados
 plásticos 156
 resinas 134, 181
 termoplásticos 183
- tetera, Wedgwood 122
 textiles, calandrado 74-75
 titanio 38
 Toki, mesita 46
 torneado 20-22
 al aire 112
 de flujo 50
 de metales 48-50
 exterior de materiales cerámicos 23-26
 interior de materiales cerámicos 23-26
- torno
 dinámico 20
 torno, operaciones de 12, 14
 transferencia
 con robot, moldeo con inserto 185-186
 moldeo por 158
 rotativa, moldeo con inserto 185-186
 tricotado de alambre preondulado 90-93
 troquelado 34
 tuberías 143
 tubos 143
 Tulip (Holanda) 190
 tungsteno 150
- vaciado 122-124, 208
 a presión 208-209
 centrífugo 143-145
 centrífugo propiamente dicho 143-145
 drenaje a presión (*pressure-assisted drain casting*) 123, 208-209
 rotativo véase moldeo rotativo
 semicentrífugo 143-145
- vacío, moldeo por 53-55
 Vaughan, Tom 119
 Verhoeven, Jeroen 15
 Vernacare 131
 Vetteri Bruni (Italia) 106
 vidrio
 fibras de refuerzo 134
 moldeo al soplete 100-101
 moldeo por prensado y soplado 106-108
 moldeo por soplado y resoplado 102-105
 perfilado por rodillos 86-87
 prensado 205-207
 reposado 46-47
 sinterizado 150
 soplado manual 98-99
 viscoplastico procesado viscoplastico de cerámicas
- Wade Ceramics (Reino Unido) 20, 116
 Wedgwood (Reino Unido) 23, 122
 plato 23
 tetera 122
 Whiteroad, Rachel 116
- Zanotta (Italia) 40
 Zientz, Kristof 125