

Proceso de conformado. Extrusión del aluminio

Jacinto López Pérez

Ingeniero Técnico de Minas
TECMINA (Técnica Minera Aplicada, S.L.)

El hecho de que los metales hayan sido y sean tan importantes para el avance de nuestra civilización, se debe en gran parte a la facilidad que ofrecen para su mecanizado, conformado y su unión, que nos permiten poder obtener múltiples piezas, con distintas características geométricas y propiedades. Los metales sometidos a unos esfuerzos determinados modifican o alteran el equilibrio de su red cristalina, produciéndose unos desplazamientos atómicos, que dan lugar a dos deformaciones: Elástica y Plástica. Los procesos de conformación suelen realizarse en la deformación plástica. Uno de estos procesos de conformado es la Extrusión.

PROCESOS BÁSICO DE MOLDEADO DE METALES

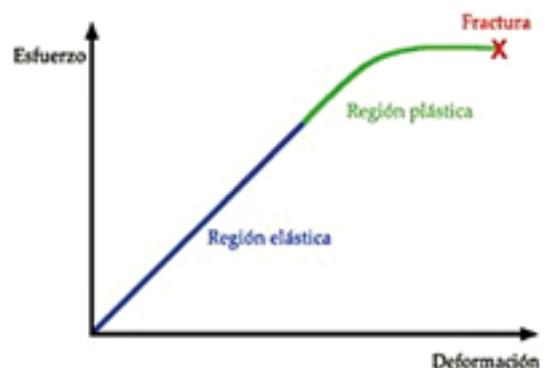
A

l aplicar un esfuerzo en un material se producen dos tipos de deformaciones (Figura 1):

Elástica: Al cesar la fuerza los átomos recuperan la situación de equilibrio.

Plástica: Los átomos no recuperan la posición inicial. La deformación es permanente. Es la zona donde se suele realizar el proceso de conformado.

El conformado, en función de la temperatura a la que se realice el proceso de deformación, se puede distinguir entre:



- Conformado por deformación en frío: Cuando esta se realiza por debajo de la temperatura de recristalización, (formación de granos libres de deformación), del material.
- Conformado por deformación en caliente: Cuando se realiza por encima de esa temperatura.

Los procesos básicos que se utilizan para dar forma a los metales (conformado) son, básicamente, cinco:

- *Solidificación en molde*. El metal fundido rellena un molde que se corresponde con el negativo de la forma a obtener.
- *Deformación plástica*. El metal se desplaza en el interior de una matriz relleno la huella. Se conserva el volumen.
- *Pulvimetalurgia*. Un polvo metálico se compacta y sinteriza en una técnica de "near-net shape".
- *Arranque de viruta*. El material se arranca de la superficie de la pieza de forma progresiva para obtener la forma deseada.
- *Soldadura*. Se pueden conformar piezas y estructuras por la unión metálica de componentes elementales.

PROCESOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA

En general, se aplica el esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el metal. Sin embargo, algunos procesos de formado estiran el metal, mientras que otros lo doblan y otros más lo cortan.

Para formar con éxito un metal éste debe poseer ciertas propiedades, que nos ayuden en el proceso. Las propiedades convenientes para el formado son:

- Baja resistencia a la fluencia
- Alta ductilidad.

Estas propiedades son *afectadas por la temperatura*.

La ductilidad se incrementa y la resistencia a la fluencia se reduce cuando se aumenta la temperatura de trabajo.

Por otro lado la velocidad de formación y la fricción son factores adicionales que afectan el desempeño del formado de metales.

Cómo hemos comentado en el aparatado anterior hay, básicamente, dos tipos de conformado en función de la temperatura de trabajo, aunque también se puede considerar un tercero: **el conformado tibio**, éste tiene lugar cuando trabajos con temperaturas altas, pero por debajo de la temperatura de recristalización.

Cuando el metal se deforma **en frío** aumenta su resistencia debido al endurecimiento por deformación, pero si el metal se deforma a una temperatura lo suficientemente ele-

En general, se aplica el esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el metal. Sin embargo, algunos procesos de formado estiran el metal, mientras que otros lo doblan y otros más lo cortan

vada (por arriba del punto de recristalización), **en caliente**, no ocurre el endurecimiento por deformación, en su lugar se forman nuevos granos libres de deformación.

Esta temperatura es aproximadamente al 50% de la temperatura de fusión del metal, llamándose temperatura de recristalización y se requiere aproximadamente una hora para la formación de nuevos granos.

En frío el proceso de conformado es en chapas metálicas.

En caliente hay varios:

- Laminación
- Forja
- Extrusión
- Estirado
- Doblado
- Embutido

CONFORMADO POR EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso de conformado por deformación plástica que consiste en obligar a una pieza, situada en un contenedor, a fluir a través de una matriz mediante la acción de un punzón.

Los metales que pueden trabajarse en caliente se pueden extrusionar con formas de sección transversal uniforme con ayuda de presión.

El principio de extrusión, similar a la acción del chorro de la pasta de dientes de un tubo, ha sido muy usado para procesos en serie desde la producción de ladrillos, tubo de desagüe, tubo de drenaje, hasta la manufactura de macarrones.

Algunos metales como el plomo, estaño y aluminio pueden extruirse en frío.

Material	Temperatura [C°(F°)]
Magnesio	350-450 (650-850)
Aluminio	350-500 (650-900)
Cobre	600-1100 (1200-2000)
Acero	1200-1300 (2200-2400)
Titanio	700-1200 (1300-2100)
	1000-1200 (1900-2200)
Aleaciones Refractarias	Mayores a 2000 (4000)

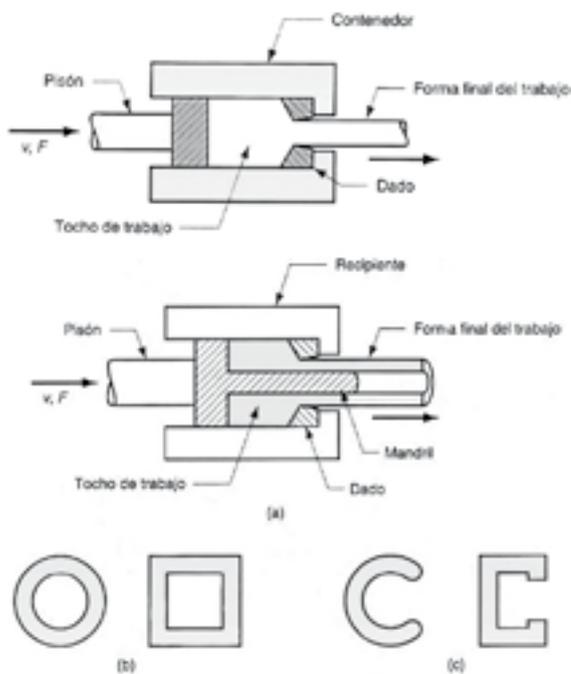
Consiste en forzar al metal (confinado en una cámara de presión) a salir a través de dados especialmente formados.

Varillas, tubos, guarniciones moldeadas, formas estructurales, cartuchos de bronce, y cables forrados con plomo son productos característicos de metales extruidos.

Las velocidades de operación dependen sobre todo de la temperatura y material, varían de unos cuantos metros sobre minuto hasta 275 m/min.

La extrusión puede ser de dos tipos:

Directa: **El metal es extruido a través del dado abriéndolo hasta que sólo queda una pequeña cantidad.**



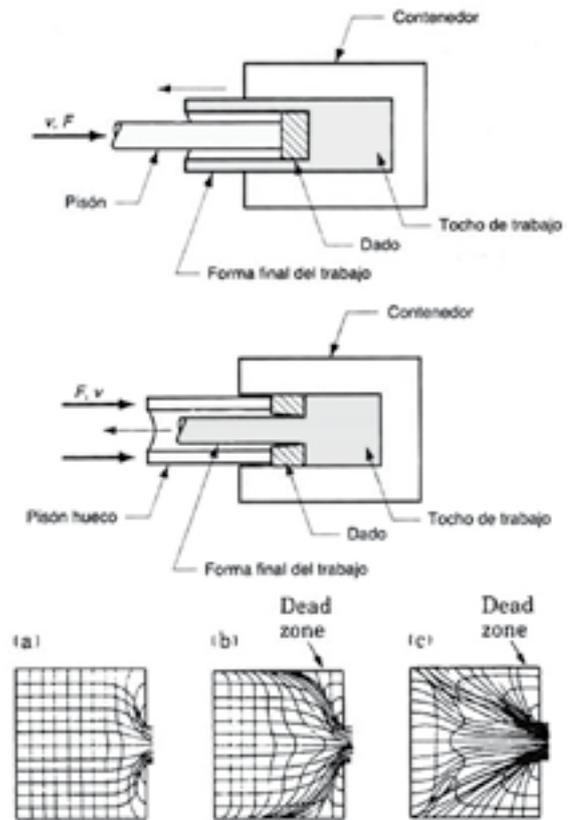
Indirecta: **la parte extruida es forzada a través del vástago apisonador.**

La extrusión puede ser de dos tipos: directa o indirecta, dependiendo de cómo el metal es extruido

En la extrusión indirecta se requiere menos fuerza, debido a que no existe fuerza de rozamiento entre el tocho y la pared continente.

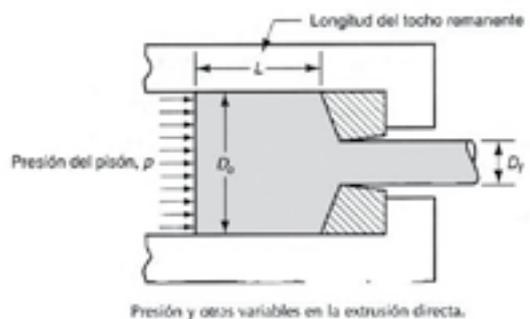
En cambio el debilitamiento del apisonador cuando es hueco y la imposibilidad de proveer soporte adecuado para la parte extruida constituyen las restricciones de este proceso.

El flujo que se produce del metal, se puede ver en la imagen siguiente.



ANÁLISIS DE LA EXTRUSIÓN

Pasaremos a definir una serie de parámetros importantes en el proceso de extrusión, para lo que utilizaremos la siguiente figura:



El primer parámetro que vamos a definir es la Relación de Extrusión, también llamada relación de reducción:

$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

Donde:

r_x = relación de extrusión;

A_0 = área de la sección transversal del tocho inicial, (mm²);

A_f = área final de la sección recta de la parte extruida, (mm²)

Esta relación se utiliza igualmente para la extrusión directa e indirecta.

Con este primer valor podemos calcular la deformación ideal, mediante la expresión:

$$\varepsilon = \ln r_x$$

La presión (Ideal) aplicada por el pisón para comprimir el tocho a través de la abertura del dado se describe en la figura anterior y se puede calcular bajo la suposición de deformación ideal como sigue:

$$p = \bar{Y}_f \ln r_x$$

Donde

\bar{Y}_f = esfuerzo de fluencia promedio durante la deformación, (MPa).

De hecho, la extrusión no es un proceso sin fricción, y las ecuaciones anteriores subestiman totalmente la deformación y la presión en una operación de extrusión. La fricción existe entre el dado y el material de trabajo, a medida que el tocho se comprime y pasa a través de la abertura del dado. En la extrusión directa, también existe la fricción entre la pared interna del contenedor y la superficie del tocho.

La fricción incrementa la deformación experimentada por el metal. Por tanto, la presión real es mayor que la obtenida en la ecuación anterior, que supone una extrusión sin fricción.

La siguiente ecuación empírica propuesta por Johnson para estimar la deformación de extrusión está bastante reconocida:

$$\varepsilon_x = a + b \cdot \ln r_x$$

Donde a y b son constantes empíricas para el ángulo del dado. Los valores típicos de estas constantes son

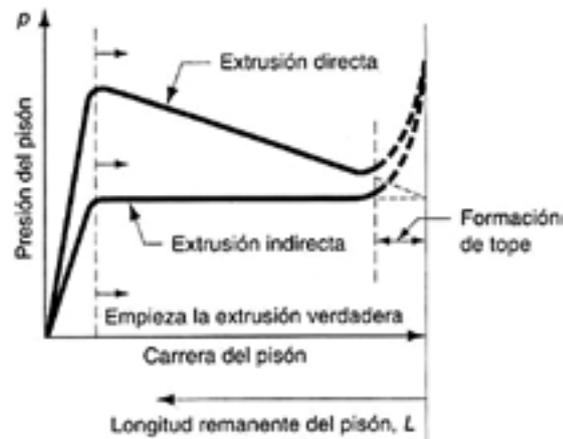
a = 0.8 y b = 1.2 a 1.5. Los valores de a y b tienden a aumentar cuando se incrementa el ángulo del dado.

La presión del pisón para desempeñar la extrusión indirecta se puede estimar con base en la fórmula de Johnson para la deformación de extrusión como sigue:

En la extrusión directa, el efecto de fricción entre las paredes del recipiente y el tocho ocasiona que la presión del pisón sea más grande que para la extrusión indirecta.

$$p = \bar{Y}_f \left(\varepsilon_x + \frac{2L}{D_0} \right)$$

Las siguientes gráficas son las típicas de la presión contra la carrera del pisón (y la longitud remanente del tocho) para extrusión directa e indirecta. Los valores más altos de la extrusión directa resultan de la fricción en las paredes del recipiente.



La forma de la acumulación de la presión al inicio de la gráfica depende del ángulo del dado (mayores ángulos del dado significan acumulaciones de presión más pronunciadas). El incremento de presión al final de la carrera se relaciona con la formación del tope.

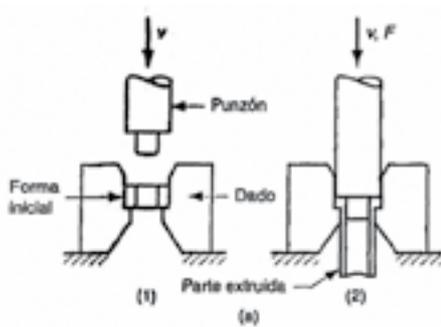
La ecuación propuesta por Johnson para estimar la deformación de extrusión está bastante reconocida.

OTROS PROCESOS DE EXTRUSIÓN

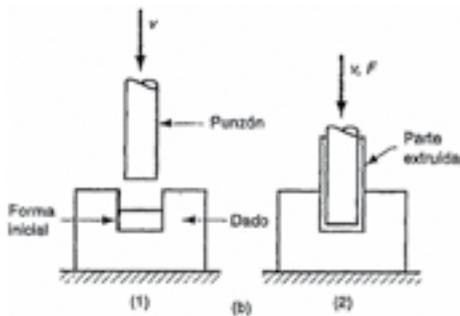
Los métodos principales de extrusión son la extrusión directa e indirecta. Ahora describiremos otras formas de extrusión y los procesos relacionados.

La extrusión por impacto. La extrusión por impacto se realiza a altas velocidades y carreras más cortas que la extrusión convencional. Se usa para hacer componentes individuales. Como su nombre lo indica, el punzón golpea a la parte de trabajo más que aplicar presión. La extrusión por impacto se puede llevar a cabo como:

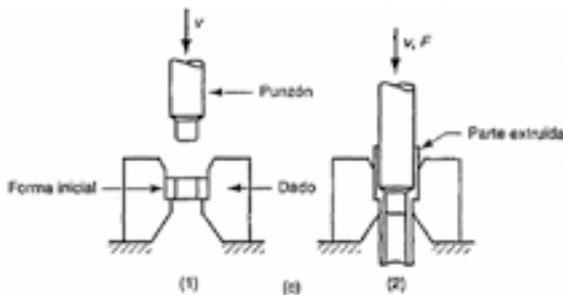
- a) extrusión hacia adelante,



- b) extrusión hacia atrás



- c) o una combinación de ambas.



La extrusión por impacto se hace usualmente en frío, con varios metales, la extrusión por impacto hacia atrás es la más común.

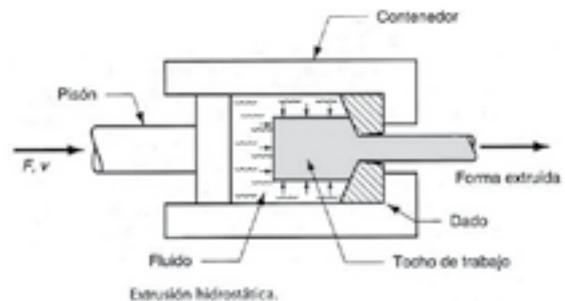
Además de la extrusión directa e indirecta, existen otros procesos, como la extrusión por impacto o la hidrostática.

Los productos hechos por este proceso incluyen tubos para pastas de dientes y cajas de baterías.

Estos ejemplos muestran que se pueden hacer paredes muy delgadas en las partes extruidas por impacto. Las características de alta velocidad del proceso por impacto permiten grandes reducciones y altas velocidades de producción, de aquí su alta importancia comercial.

Extrusión hidrostática. Un problema de la extrusión directa es la fricción a lo largo de la interfase tocho-contenedor. Este problema se puede solucionar utilizando un fluido en el interior del contenedor y ponerlo en contacto con el tocho, luego presionar el fluido con el movimiento hacia adelante del pistón, como se muestra en la figura.

De tal manera que no exista fricción dentro del recipiente y se reduzca también la fricción en la abertura del dado. La fuerza del pistón es entonces bastante menor que en la extrusión directa. La presión del fluido que actúa sobre todas las superficies del tocho da su nombre al proceso.



Se puede llevar a cabo a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas. Para temperaturas elevadas se necesitan fluidos y procedimientos especiales.

La extrusión hidrostática es una adaptación de la extrusión directa.



La presión hidrostática sobre el material de trabajo incrementa la ductilidad del material. Por consiguiente, este proceso se puede usar con metales que son demasiado frágiles para operaciones de extrusión convencional.

Los metales dúctiles también pueden extruirse hidrostáticamente y es posible una alta relación de reducción en esos materiales.

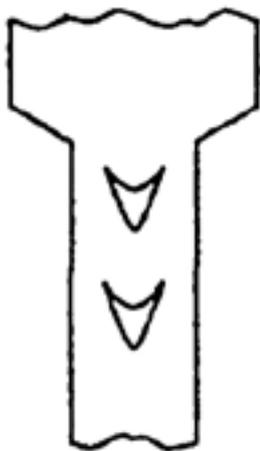
Una desventaja del proceso es que se requiere preparar los tochos iniciales de trabajo.

El tocho debe formarse con un huso en uno de sus extremos para ajustarlo al ángulo de entrada del dado. Éste actúa como un sello que previene fugas del fluido a través de la abertura del dado, al iniciar la presurización del recipiente.

DEFECTOS EN PRODUCTOS EXTRUIDOS

Debido a la considerable deformación asociada a las operaciones de extrusión, pueden ocurrir numerosos defectos en los productos extruidos. Los defectos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

Reventado central. Este defecto es una grieta interna que se desarrolla como resultado de los esfuerzos de tensión pueden parecer improbables en un proceso de compresión como la extrusión, tienden a ocurrir bajo condiciones que ocasionan gran deformación en regiones de trabajo apartadas del eje central.



El movimiento de material más grande en las regiones exteriores, estira el material a lo largo del centro de la pieza de trabajo. Si los esfuerzos son lo suficientemente grandes, ocurre el reventado cen-

tral. Las condiciones que promueven estas fallas son los ángulos obtusos del dado, las bajas relaciones de extrusión y las impurezas del metal de trabajo que sirven como puntos de inicio para las grietas.

Lo difícil del reventado central es su detección. Es un defecto interno que no se observa generalmente por inspección visual.

Otros nombres que se usan para este efecto son *fractura de punta de flecha*, *agrietao central* y *agrietao tipo chevron*.

Tubificado (bolsa de contracción). La tubificación es un defecto asociado con la extrusión directa. Como se puede apreciar en la figura es un hundimiento en el extremo del tocho.

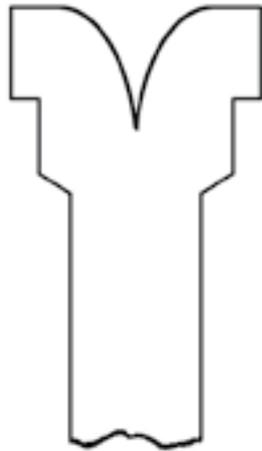


El uso de un bloque simulado, cuyo diámetro sea ligeramente menor que el del tocho, ayuda a evitar la tubificación. Otros nombres que se dan a este defecto son *cola de tubo* y *cola de pescado*.

Agrietado superficial. Este defecto es resultado de las altas temperaturas de la pieza de trabajo que causan el desarrollo de grietas en la superficie; ocurre frecuentemente cuando la velocidad de extru-

El uso de un bloque simulado, cuyo diámetro sea ligeramente menor que el del tocho, ayuda a evitar la tubificación.

sión es demasiado alta y conduce a altas velocidades de deformación asociadas con generación de calor



Otros factores que contribuyen al agrietamiento superficial son la alta fricción y el enfriamiento rápido de la superficie de los tochos a altas temperaturas en la extrusión en caliente.

EXTRUSIÓN DEL ALUMINIO

Los Productos extruidos representan más del 50% del mercado europeo de productos de aluminio; de este porcentaje, el sector de la edificación utiliza la mayor parte.

El aluminio extruido se usa en los sistemas de perfiles de ventanas y puertas en edificios residenciales y comerciales, en estructuras de viviendas y edificios prefabricados, en materiales para tejados y revestimientos exteriores, muros cortina, fachadas de locales comerciales, etc. Además, el aluminio extruido se

usa también en el transporte de cargas, en fuselajes de aviones, vehículos de carretera y ferrocarriles, y para aplicaciones marinas.

Las características fundamentales del proceso de extrusión del aluminio son las siguientes: Un lingote caliente, cortado de un tocho largo (o, para diámetros pequeños, de una barra extruida más grande), se aloja dentro de un contenedor caliente, normalmente entre 450 °C y 500 °C.

A estas temperaturas, la tensión de flujo de las aleaciones de aluminio es muy baja, y aplicando presión por medio de un pistón hidráulico (ariete) el metal fluye (extrusión directa) a través de una matriz de acero situada en el otro extremo del contenedor.

Este proceso da, como resultado, un perfil cuya sección transversal viene definida por la forma de la matriz.

Todas las aleaciones de aluminio pueden ser extruidas, pero algunas son menos adecuadas que otras, ya que exigen mayores presiones, permiten sólo velocidades bajas de extrusión y/o tienen acabado de superficie y complejidad de perfil menores de las deseadas. El término “extrusionabilidad” se utiliza para abarcar todos estos temas, con el aluminio puro en un lado de la escala, y las fuertes aleaciones de Aluminio-Zinc-Magnesio-Cobre en el otro. Las aleaciones de la serie 6000 (Aluminio-Magnesio-Silicio) ocupan la mayor parte del mercado de la extrusión.

Este grupo de aleaciones tiene una combinación atractiva de propiedades, importantes tanto desde el punto de vista de la producción como de su uso, y han sido objeto de una gran cantidad de proyectos de I+D en numerosos países. Como resultado se ha obtenido un conjunto de materiales, con una resistencia entre 150 Mpa y 350 Mpa, y todos con buena dureza y formabilidad. Se pueden extrusionar con facilidad y en general, su “extrusionabilidad” es buena, aunque aquellos que contienen niveles de magnesio y silicio en los límites inferiores de la escala, por ejemplo la 6060 y la 6063, se extruyen a velocidades muy altas, hasta 100 metros por minuto, con un buen acabado de superficie, aptitud para el anodizado y un complejidad máxima de sección transversal del perfil junto con un mínimo espesor de pared.

La potencia de empuje de las prensas varía desde unos pocos cientos de toneladas hasta 20.000 tone-

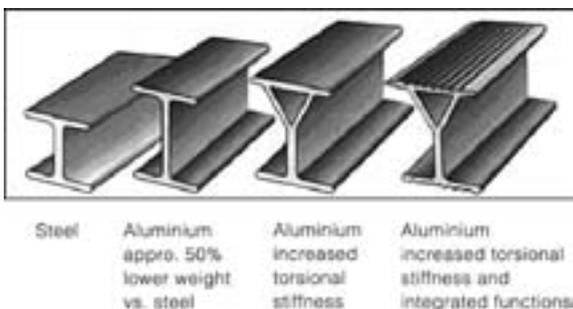
Todas las aleaciones de aluminio pueden ser extruidas, pero algunas son menos adecuadas que otras, ya que exigen mayores presiones



ladas, aunque la mayoría están en el rango comprendido entre 1.000 y 3.000 toneladas. El diámetro de los tochos de extrusión va desde 50 mm hasta 500 mm. con una longitud de entre 2 y 4 veces el diámetro. Aunque la mayoría de las prensas tienen contenedores cilíndricos, algunas los tienen rectangulares para la producción de perfiles con secciones anchas y de pequeño espesor.



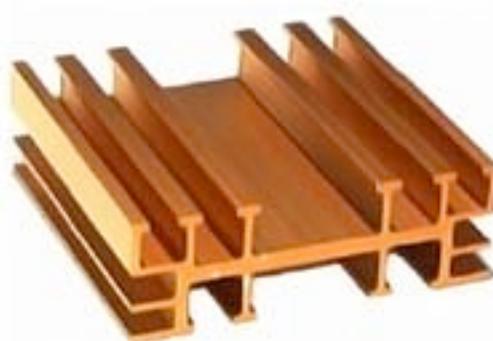
La facilidad con que las aleaciones de aluminio pueden ser extruidas en formas complejas convierte en legítima la afirmación de que permite al diseñador “poner el metal justo donde hace falta”, un requisito importante cuando se habla de una material relativamente caro. Es más, esta flexibilidad en el diseño hace que sea fácil, en muchos casos, superar el hecho que el aluminio y sus aleaciones sólo tienen un tercio del módulo elástico del acero.



Dado que la rigidez depende no sólo del módulo elástico sino también de la geometría del perfil, es posible, aumentando 1,5 veces el grosor de una viga de aluminio respecto a la de acero que pretende reemplazar, obtener la misma rigidez del acero con la mitad de peso.

Además, con un poco de coste extra en la fase de mecanizado, se pueden añadir características a la forma del perfil que aumentan la rigidez de torsión y añaden surcos para, por ejemplo, eliminar fluidos, meter cableado, muescas antideslizantes, etc.

Estas características en una viga de acero significarían costes extras debido a la necesidad de soldadura y conformación, lo que reduce en parte la diferencia inicial entre los costes del acero y del aluminio. ■



La flexibilidad en el diseño hace que sea fácil, en muchos casos, superar el hecho que el aluminio y sus aleaciones solo tienen un tercio del módulo elástico del acero

BIBLIOGRAFÍA

Ingeniería de Materiales. M^a Dolors Riera. EUPM.

Formado de Materiales. Francisco Montaña. UMSS.

ANEXPA.