



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LECTURA NO. 31

**CONFORMADO MEDIANTE DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE
METALES**



RECOPILO:

M.en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2018-2

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
-------------------	---

CAPITULO 1 DEFORMACIÓN EN FRÍO Y EN CALIENTE

1.1. Conformado en frío	3
1.2 Conformado en caliente	7

CAPITULO 2 LAMINADO O ROLADO

2.1. Acero Laminado en Caliente vs en Frío	17
2.2. ¿Cuál es la diferencia entre el acero laminado en caliente y el laminado en frío?	18
2.3. Acero laminado en frío	20

CAPITULO 3 PROCESO DE FORJA

3.1. Forja en frío	24
3.2. Forja en caliente	25
3.3. Forja con martinets	25
3.4. Forja con prensas	27
3.5. Forja a dado abierto	29
3.6. Forjado con dado cerrado	30

CAPITULO 4 ESTIRADO Y TREFILADO

4.1 El estirado en frío	35
4.2. ¿Cómo es el proceso de estirado en frío?	35

CAPITULO 5 EXTRUSIÓN

5.1. Extrusión directa.....	39
5.2. Extrusión indirecta	40
5.3. Extrusión hidrostática	41

CAPITULO 6 EMBUTIDO PROFUNDO

6.1 Embutido profundo	43
-----------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA.....	46
-------------------	----

INTRODUCCIÓN

En ocasiones, la idoneidad de un material para una aplicación viene dada por la facilidad de conformado y por el precio. Las técnicas de conformado metálico son los métodos utilizados para formar o manufacturar productos metálicos útiles y suelen ir precedidos por procesos de afino, aleación y, a menudo, tratamiento térmico que generan aleaciones con las propiedades deseadas.

La clasificación de las técnicas de manufactura incluye métodos de conformado, moldeo, pulvimetalurgia, soldadura y mecanizado; normalmente se utilizan dos o más métodos para terminar una pieza. Los métodos escogidos dependen de varios factores; los más importantes son las propiedades del metal, el tamaño y forma de la pieza acabada y, desde luego, el precio.



CAPITULO 1

DEFORMACIÓN EN FRÍO Y EN CALIENTE

<http://psmpprocesos.blogspot.mx/2016/02/deformacionen-frío-en-caliente-la.html>

El conformado por deformación plástica puede realizarse en caliente o en frío, según que la temperatura de trabajo se halle por encima o por debajo de *la temperatura de recristalización*, respectivamente; sin que ello deba significar una estricta separación, ya que casi todos los procesos pueden tener lugar de una forma u otra.

Conformado en caliente:
 $T > 0.6T_f$ (K)

(por encima de la temperatura de recristalización del material)

Conformado en frío:
 $T < 0.35 T_f$ (K)

(por debajo de la temperatura de recristalización del material)

1.1. Conformado en frío

El conformado en frío es la que se realiza a temperatura inferior a la de **recristalización**. No quiere decir, por tanto, que no se pueda utilizar energía térmica junto con la mecánica: basta con que su efecto no provoque cambios esenciales en la estructura cristalina.

Tabla 1.1 Temperaturas de recristalización y fusión para varios metales y aleaciones

Metal	T recristalización (°C)	T fusión (°C)
Plomo	-4	327
Estaño	-4	232
Cinc	10	420
Aluminio (99,999% en peso)	80	660
Cobre (99,999 % en peso)	120	1085
Latón (60%Cu-40% Zn)	475	900
Níquel (99,999 % en peso)	370	1455
Hierro	450	1538
Tungsteno	1200	3410

Cuando se somete al metal a esfuerzos superiores a su resistencia a la fluencia, se produce el desplazamiento de las dislocaciones y tiene lugar la deformación plástica. Ahora bien, como consecuencia de la gran diversidad de orientaciones de los granos, no todos estarán en ese momento en posición favorable para que se inicie el desplazamiento de la dislocación, por lo que esta se producirá solo en algunos de ellos, alcanzándose un cierto grado de deformación plástica. Para aumentar la deformación se debe ahora producir el desplazamiento de la dislocación en cristales que por su orientación o impedimentos de los adyacentes (la red se desordena) requieren una mayor tensión crítica, es decir se deben aumentar los esfuerzos aplicados para seguir deformándolo. En otras palabras: cuanto mayor sea la deformación producida, mayor ha de ser la fuerza aplicada para que continúe deformándose. Este fenómeno se conoce con el nombre de endurecimiento por deformación en frío y es utilizado en la práctica para aumentar la resistencia de los metales a base de una pérdida de ductilidad.

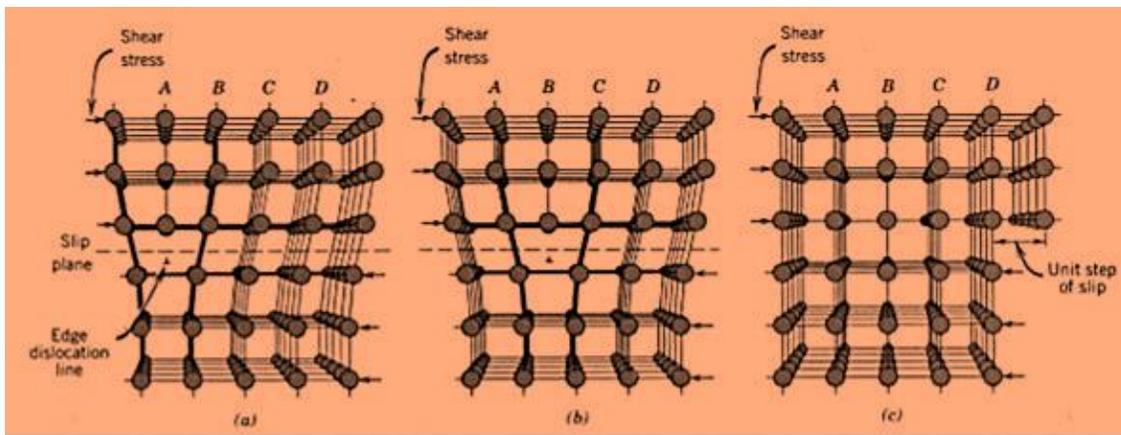


Figura 1.1. Deformación plástica producida por el movimiento de una dislocación de borde.

Efectos del conformado en frío

Las distintas orientaciones de los cristales y la baja movilidad atómica a las temperaturas de conformado, hacen que no haya homogeneización y por tanto las diferentes zonas del cristal pueden soportar distintas tensiones.

El desequilibrio de éstas dará origen a tensiones de largo alcance, también llamadas *macrotensiones* o *tensiones de Heyn*, cuyos efectos se manifiestan de las siguientes maneras:

- Produciendo deformaciones en las piezas mecanizadas, haciendo imposible su acabado final cuando las tolerancias son estrechas.
- Haciendo surgir esfuerzos superficiales de tracción que tienden a acentuar los defectos superficiales y aumentan la sensibilidad de entallas, rebajando la resistencia a la fatiga y favoreciendo la corrosión.
- Aumento de la dureza y fragilidad (acritud).

Las **ventajas** de estos procesos frente a los de conformado en caliente son:

- Mejores superficies y tolerancias dimensionales
- Mejores propiedades mecánicas (resistencia)
- Mejor reproducibilidad
- Confieren al material anisotropía (en caso de que esta característica suponga una ventaja para la aplicación de que se trate).

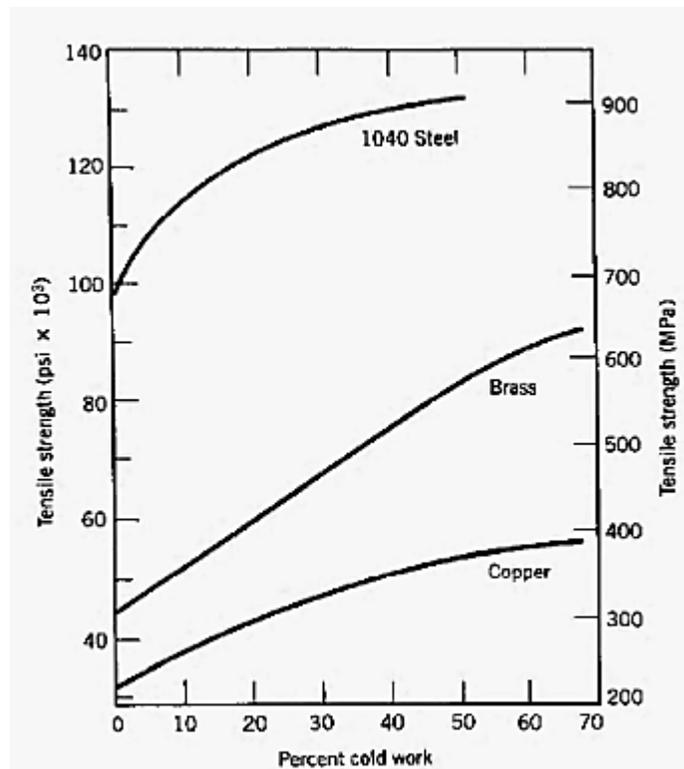


Figura 1.2. Variación de la resistencia máxima en función del trabajo en frío aplicado para el acero AISI 1040, el latón y el Cu trabajados en frío

Las **desventajas** de estos procesos son:

- Mayores necesidades de fuerza y energía debido al endurecimiento por deformación (equipo más pesado y potente).
- Menor ductilidad
- Se produce anisotropía en el material (en caso de que sea una circunstancia desfavorable)
- Y es necesario que la pieza de partida presente superficies limpias.

Para producir grandes deformaciones es necesario realizar el proceso en varias etapas y someter el material, al final de cada etapa, a un tratamiento de recocido para eliminar las tensiones residuales.

Efectos del calentamiento en la deformación plástica

Al deformar un metal en frío se le comunica una energía y, por lo tanto, pasa a un estado de inestabilidad, puesto que su energía interna es ahora mayor que la que tenía sin deformar. A la temperatura ambiente, la velocidad con que se pasa a la forma estructural estable es muy lenta, siendo posible aumentarla elevando su temperatura. Con ello se incrementa la agitación térmica y, en consecuencia, la movilidad atómica, dando lugar a la aparición de tres etapas: recuperación, recristalización y crecimiento de grano.

a) **Recuperación:** Caracterizada por la tendencia de los átomos a pasar a sus posiciones de equilibrio estable, sin que haya movimiento aparente de los contornos de los granos. Durante esta etapa se contrarresta la consolidación, desaparecen en el metal las tensiones internas, disminuye ligeramente la dureza y el límite elástico.

b) **Recristalización:** En esta etapa se forman cristales nuevos de entre los antiguos deformados. Comienza a partir de una determinada temperatura, con la formación de gérmenes que aparecen en los lugares de mayor acritud, en los límites de grano y en los planos de deslizamiento y maclado. Estos gérmenes crecen a expensas de los átomos que les rodean y finalmente, sustituyen al edificio cristalino deformado. Paralelamente a estos cambios estructurales el metal recupera su plasticidad y las propiedades físicas tienden a alcanzar los valores que tenían antes de producirse la deformación.

c) **Crecimiento de grano:** Si continúa el calentamiento por encima de la temperatura de recrystalización, comienza otra etapa, durante la cual el grano recrystalizado continúa creciendo a medida que aumenta la temperatura. El crecimiento de grano (llamado también coalescencia) por encima de la temperatura de recrystalización depende de la temperatura y del tiempo de calentamiento, siendo estos dos factores favorables para el aumento de grano.

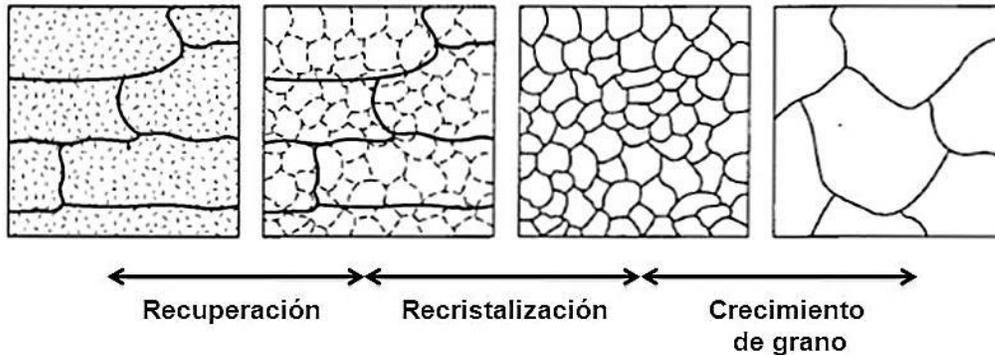


Figura 1.3. Etapas que se presentan durante el calentamiento de un metal después de ser trabajado en frío

<http://slideplayer.es/1052683/3/images/5/Recocido%3A+Recuperaci%C3%B3n+Recrystalizaci%C3%B3n+Crecimiento+de+grano+Tiempo.jpg>

1.2 Conformado en caliente

Según se ha dicho anteriormente el conformado en caliente se realiza operando a temperaturas superiores a la de recrystalización. Conforme se eleva la temperatura de un metal, deformándolo a la vez, aumenta la agitación térmica y disminuye la tensión crítica de cizallamiento, aumentando así la capacidad de deformación de los granos. Simultáneamente se produce también una disminución de la resistencia de los bordes de grano. Aparecen, pues, dos factores, ambos dependientes de la temperatura: la resistencia de los bordes de grano y la resistencia de los cristales, los cuales varían de la forma indicada en la imagen. Ambas curvas se cortan en un punto al que corresponde una temperatura llamada de equicohesión, en la que se igualan las resistencias.

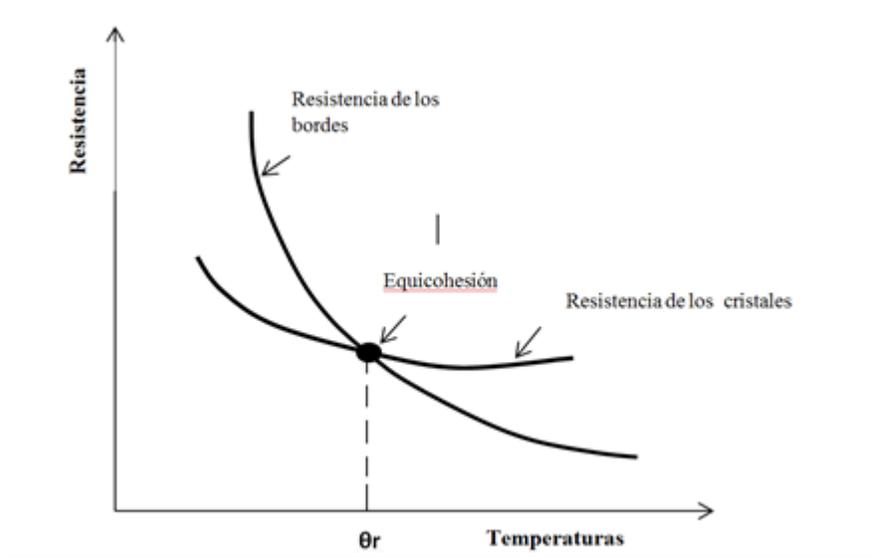


Figura 1.4. Resistencia de los bordes de grano y de los cristales en función de la temperatura.

Cuando el material se trabaja a temperaturas inferiores a la de equicohesión las deformaciones se producen en el interior de los granos (transcristalina) y se origina acritud; por el contrario, a temperaturas superiores, la deformación es intergranular, de tipo fluido y no se origina acritud.

En el trabajo en caliente hay que mantener, pues, la temperatura siempre por encima de la de recrystalización. Ahora bien, como durante el tratamiento tienen lugar simultáneamente las deformaciones plásticas y la recrystalización de los granos deformados, para que el metal no tenga acritud después de deformado, se requiere que la velocidad de recrystalización sea suficientemente elevada, para que todos los granos hayan recrystalizado al terminar el proceso.

Por tanto, no basta con efectuar el trabajo por encima de la temperatura de recrystalización; hay que mantener al metal con esa temperatura el tiempo suficiente para que la recrystalización haya sido completada. La temperatura de trabajo tiene también un tope superior. Ha de ser inferior a la temperatura de fusión del metal y de las impurezas; y en caso de que haya eutéctico, por debajo de la temperatura de formación de este.

Efectos del conformado en caliente

Las ventajas de los procesos de conformado en caliente son las siguientes:

- Permite obtener la misma deformación que en frío con menores esfuerzos.
- Puesto que se producen simultáneamente la deformación y la recristalización, es posible obtener:
 - a) Un grano más fino
 - b) Materiales más blandos y dúctiles
 - c) Aumenta la resistencia al impacto
 - d) Ausencia de tensiones residuales
 - e) Estructura más uniforme (las impurezas se eliminan fluyendo al exterior del material)
 - f) Se pueden obtener grandes deformaciones
- Mayor densidad
- Estructura fibrosa y, por tanto, una mejor resistencia mecánica en la dirección de la fibra.

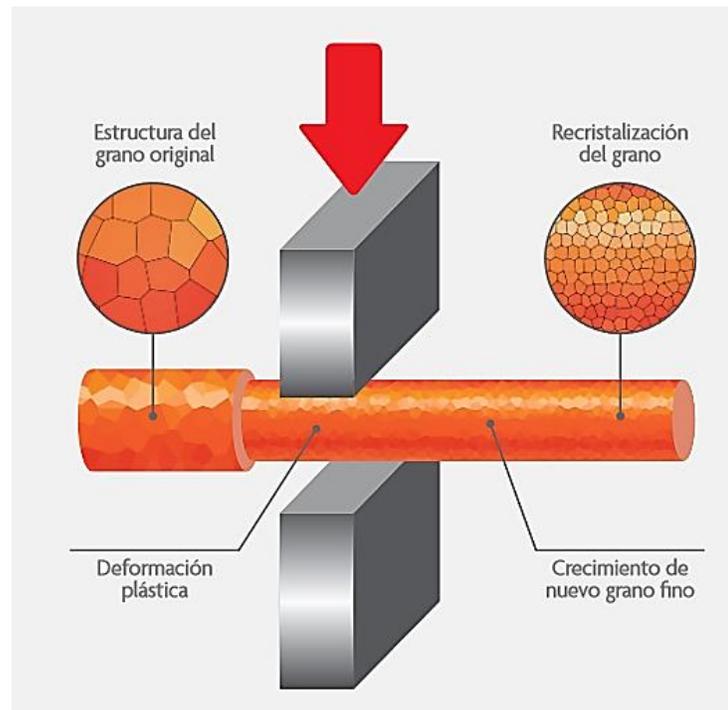


Figura 1.5. Durante el trabajo en caliente, los granos alargados anisotrópicos se recristalizan de inmediato. Si la temperatura de trabajo en caliente se controla adecuadamente, el tamaño final de grano puede resultar muy fino.

Las desventajas del conformado en caliente son

- Oxidación rápida (esto es, formación de escamas, dando por resultado superficies rugosas).
- Tolerancias relativamente amplias (2-5 %) debido a las superficies rugosas y dilataciones térmicas.
- La maquinaria de trabajo en caliente es costosa y requiere mantenimiento considerable.

CAPITULO 2

LAMINADO O ROLADO

El laminado es un proceso de deformación en el cual el metal pasa entre dos rodillos y se comprime mediante fuerzas de compresión ejercidas por ellos. Los rodillos giran para jalar el material y simultáneamente apretarlo entre ellos.

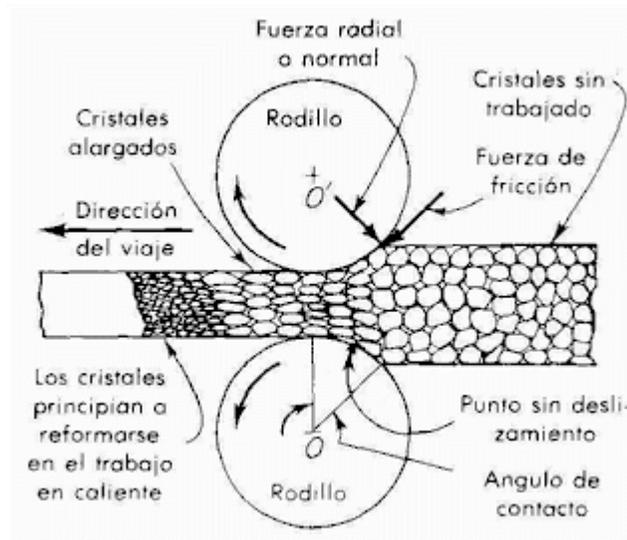


Figura 2. 1. Proceso de laminado.

El trabajo empieza con un lingote de acero fundido y recién solidificado. Aún caliente, el lingote se coloca en un horno donde permanece por muchas horas, hasta alcanzar una temperatura uniforme en toda su extensión, para que pueda fluir consistentemente durante el laminado. Para el acero, la temperatura de laminación es alrededor de 1200 °C. La operación de calentamiento se llama recalentada, y los hornos en los cuales se lleva a cabo se llaman fosas de recalentamiento. El lingote recalentado pasa al molino de laminación, donde se lamina para convertirlo en una de las tres formas intermedias llamadas lupias, tochos o planchas. Una lupia tiene una sección transversal cuadrada de 150 mm de lado o mayor. Un tocho se lamina a partir de una lupia, es de sección transversal cuadrada de 38 mm por lado o mayor. Una plancha se lamina a partir de un lingote o de una lupia y, tiene una sección rectangular de 250 mm de ancho o más, y un espesor de 38 mm o más.

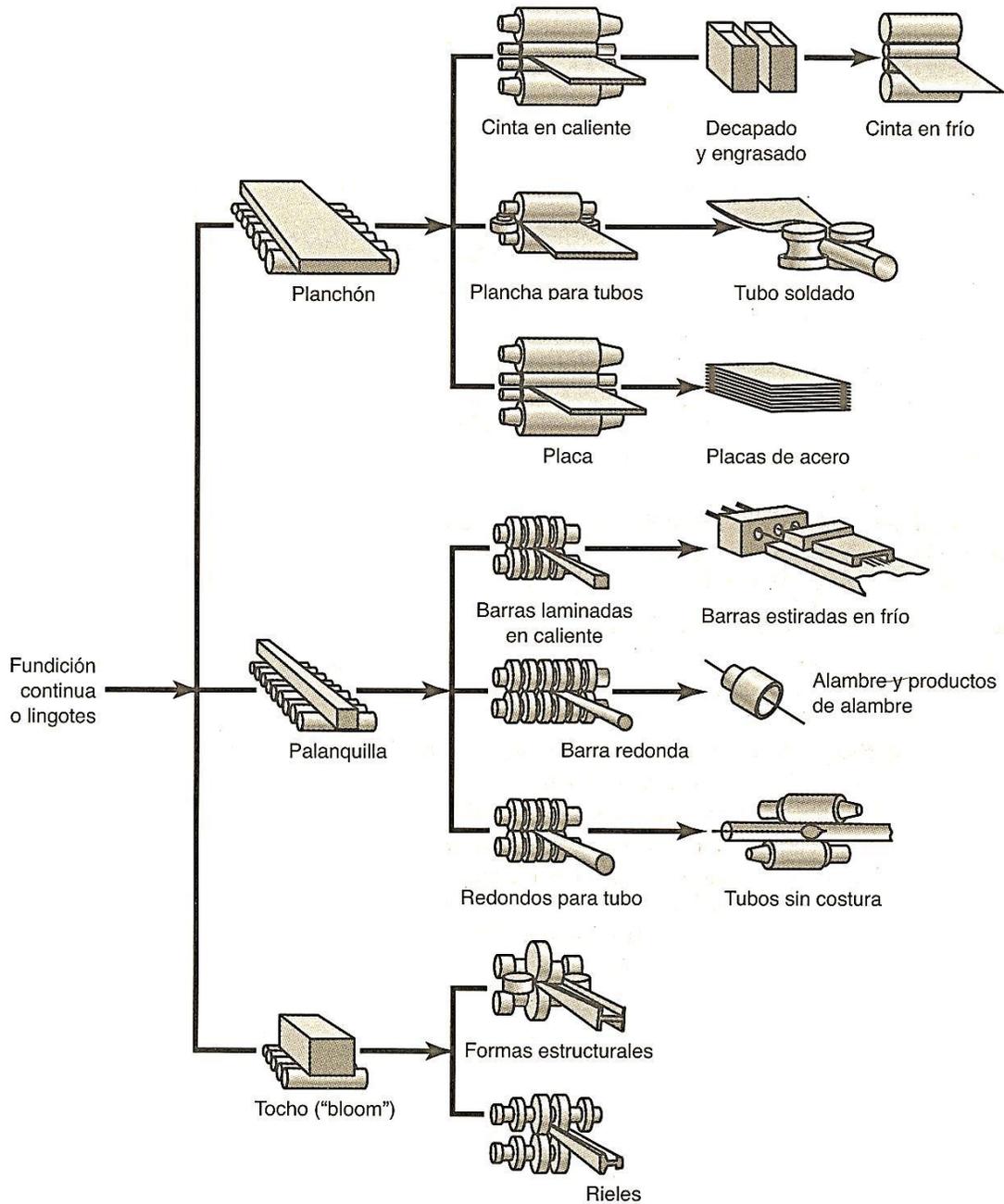


Figura 2.2 productos que se pueden hacer con el laminado de acero.

La mayoría de los productos laminados se realizan en caliente debido a la gran cantidad de deformación requerida, y se le llama laminado en caliente. Los metales laminados en caliente están generalmente libres de esfuerzos residuales y sus propiedades son isotrópicas (propiedades iguales en todas direcciones). Las desventajas del laminado en caliente son que el

producto no puede mantenerse dentro de tolerancias adecuadas, y la superficie presenta una capa de óxido característica.

- ***Laminado plano.***

El laminado plano involucra el laminado de planchas, tiras, láminas y placas, partes de trabajo de sección transversal rectangular con un ancho mayor que el espesor. En el laminado plano, se presiona el material de trabajo entre dos rodillos de manera que su espesor se reduce. Además de reducir el espesor, el laminado incrementa usualmente el ancho del material de trabajo. Esto se llama esparcido y tiende a ser más pronunciado con bajas relaciones entre espesor y ancho, así como con bajos coeficientes de fricción. Existe la conservación del material, de tal manera que el volumen de metal que sale de los rodillos es igual al volumen que entra a los rodillos.

- ***Laminado de perfiles.***

La mayoría de los principios que se aplican al laminado plano son aplicables al laminado de perfiles. Los rodillos formadores son más complicados; y el material inicial, de forma generalmente cuadrada, requiere una transformación gradual a través de varios rodillos para alcanzar la sección final. El diseño de la secuencia de las formas intermedias y los correspondientes rodillos se llama diseño de pases de laminación. Su meta es lograr una deformación uniforme a través de las secciones transversales de cada reducción. De otra forma ciertas porciones de trabajo se reducen más que otras, causando una mayor elongación en estas secciones. Las consecuencias de una reducción no uniforme pueden ser torceduras y agrietamiento del producto laminado. Se utilizan rodillos horizontales y verticales para lograr una reducción consistente del material de trabajo.

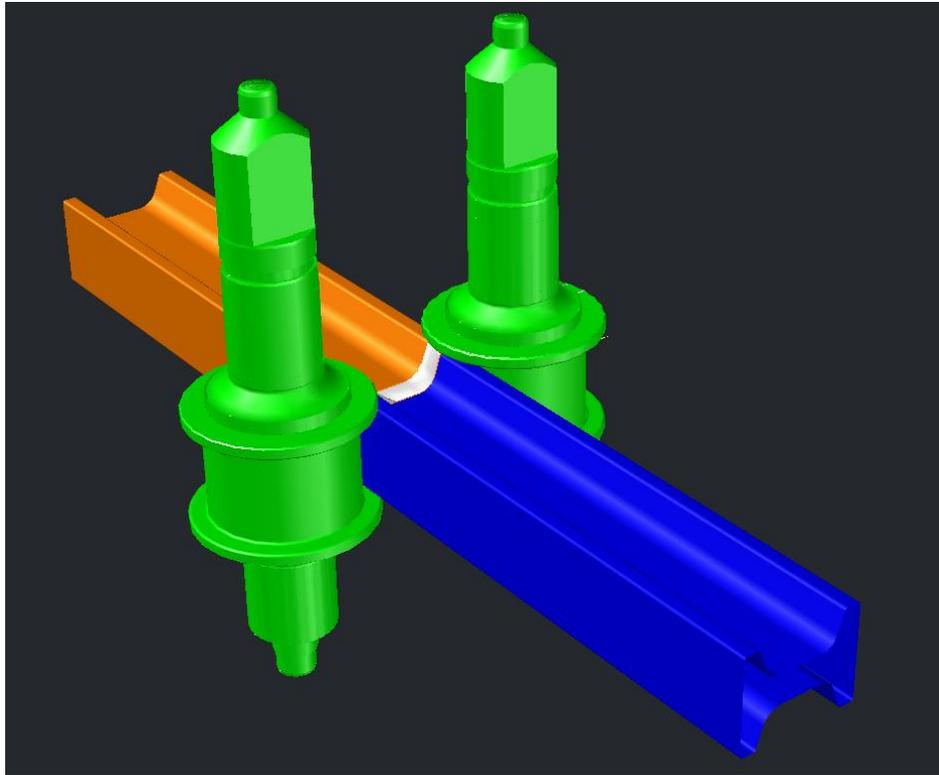


Figura 2.3. Laminado pasando el metal por varios rodillos

Molinos de laminación

Existen varios tipos de molinos de laminación con diferentes configuraciones. El molino de laminación más común consiste en dos rodillos opuestos y se conoce como molino de laminación «de dos rodillos» (a), este tipo de configuración puede ser reversible o no reversible. En el molino no reversible, al girar siempre en la misma dirección, el material de trabajo entra siempre por el mismo lado; y en el reversible el material de trabajo puede entrar por ambos lados, ya que los rodillos pueden girar en las dos direcciones.

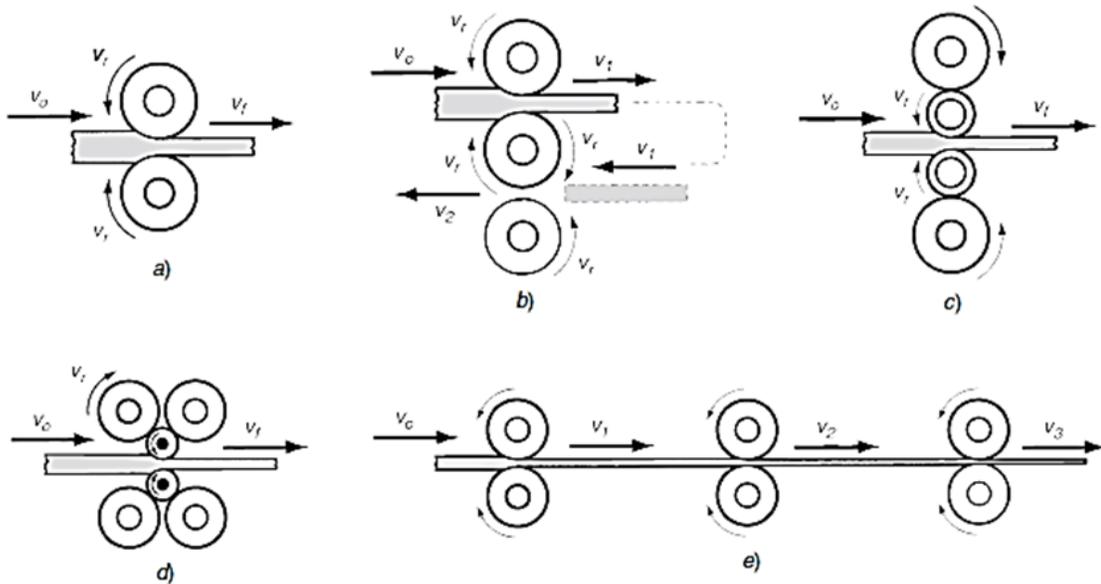


Figura 2.4. Varias configuraciones de molinos de laminación: a) dos rodillos, b) tres rodillos, d) molino en conjunto y e) molino de rodillos en tándem

Otras configuraciones menos utilizadas son la de «tres rodillos», «cuatro rodillos» y «rodillos tándem». La configuración de «tres rodillos» (b) consiste en tres rodillos en una columna vertical en la que la dirección de los rodillos no cambia y el material de trabajo puede pasar en cualquier dirección para lograr una serie de reducciones, subiendo o bajando el material después de cada paso. Este molino es más complicado por el mecanismo que debe elevar o bajar el material de trabajo después de cada pasada. En los molinos «de cuatro rodillos» (c,d) o «en racimo» (e,f) se usan dos rodillos de menor diámetro, que se encargan de realizar la presión sobre el material de trabajo. Estos rodillos se apoyan en dos rodillos de mayor diámetro para evitar desviaciones debidas a las grandes fuerzas que se ejercen sobre el material de trabajo. Para conseguir altas velocidades de rendimiento se utiliza el «molino de rodillos tándem» que consiste en una serie de bastidores de rodillos los que pueden llegar a los 8 ó 10 pares de rodillos y en cada uno se realiza una reducción del material. El mayor problema es el de la sincronización de las velocidades debido a que esta aumenta en cada una de las fases. Los molinos tandem se usan con frecuencia en operaciones con colada continua. Presentan algunas ventajas cuando se utilizan en la colada continua, como la eliminación de las fosas de recalentado y que necesitan menos espacio.

Rodillos

Los materiales utilizados para la fabricación de rodillos deben ser resistentes mecánicamente y resistentes al desgaste, normalmente se utilizan fundiciones de hierro, acero fundido y de acero forjado, para rodillos de pequeños diámetros se utilizan carburos de tungsteno. Los rodillos de acero forjado tienen más resistencia, tenacidad y rigidez que los rodillos de hierro fundido aunque estas ventajas se ven reflejadas en el coste ya que son más caros.

Los rodillos que se utilizan en la laminación en frío son rectificadas hasta alcanzar un acabado fino., para aplicaciones especiales los rodillos además se pulen. Estos rodillos no deben ser utilizados en la laminación en caliente, ya que pueden llegar a agrietarse por ciclado térmico y astillarse.

Lubricantes

El laminado en caliente de las aleaciones con hierro generalmente se realiza sin lubricantes, aunque se puede utilizar el grafito. Se usan soluciones en base agua para romper la cascarilla sobre el material laminado y para enfriar los rodillos. Las aleaciones no ferrosas se laminan en caliente y se utilizan aceites compuestos, ácidos grasos y emulsiones. La laminación en frío se realiza con lubricantes de baja viscosidad o con lubricantes solubles en agua, como emulsiones, aceites minerales, parafina y aceites grasos.

En el tratamiento térmico de las palanquillas y de las placas el medio que se utiliza para su calentamiento también puede servir como lubricante.

Defectos en hojas y láminas de metal

Estos defectos pueden presentarse en la superficie de las placas u hojas, o pueden darse en su estructura interna. Los defectos degradan la apariencia de la superficie y pueden afectar de manera adversa a la resistencia, la capacidad de formado y otras características de manufactura.

- Los defectos superficiales pueden ser: ralladuras, corrosión, cascarilla, picaduras, mordeduras y grietas causados por inclusiones e impurezas en el material fundido original o debido a otros procesos de preparación del material o a la misma operación de laminado.

- Los bordes ondulados en las hojas se forman debido a la flexión del rodillo. La tira es más delgada en los bordes que en el centro, ya que estos se alargan más y se tuercen debido a que están limitados en su libre expansión en la dirección longitudinal de laminado.
- Las grietas son el resultado de una deficiencia de ductilidad del material sometido a laminación a la temperatura en la que se realiza el proceso.
- El hojearamiento es debido a una deformación no uniforme durante el proceso de laminación o por la presencia de defectos en la palanquilla fundido original.
- Los defectos en los bordes en las hojas laminadas son eliminados mediante operaciones de corte y hendedura.

2.1. Acero Laminado en Caliente vs en Frío <http://www.reliancefoundry.com/blog/acero-laminado-frio-vs-caliente-es#ref>

El acero viene de muchos grados, especificaciones, formas y acabados—la Asociación Mundial de Acero lista más de 3,500 grados de acero diferentes, cada uno con propiedades únicas. Los diferentes tipos significan que el acero puede ser utilizado ampliamente en infraestructura, electrodomésticos, vehículos, molinos de viento y muchas aplicaciones más.



Figura 2.5. El acero laminado en frío se almacena y vende en forma de rollo después del laminado.

Sin embargo, el optimizar las propiedades del acero para cada aplicación va más allá de cambiar la composición química. El proceso de fabricación del acero puede también tener un impacto significativo en los productos de acero—incluso cuando los grados y especificaciones son los mismos. Una distinción clave entre los productos de acero prefabricado es la diferencia entre el acero laminado en caliente y el laminado en frío.

2.2. ¿Cuál es la diferencia entre el acero laminado en caliente y el laminado en frío?

Es importante mencionar que la principal diferencia entre el acero laminado en caliente y el laminado en frío es el proceso. “Laminado en caliente” se refiere al proceso realizado con calor. “Laminado en frío” se refiere al proceso realizado a o cerca a temperatura ambiente. Aunque estas técnicas afectan el desempeño y la aplicación en general, no deberían ser confundidas con especificaciones formales y grados de acero, las cuales se relacionan con composiciones metalúrgicas y clasificaciones de desempeño. Los aceros de diferentes grados y especificaciones pueden ser laminados en caliente o en frío—incluyendo tanto aceros al carbono básico como aceros aleados

Puede parecer obvio, pero algunos tipos de acero son más apropiados para ciertas aplicaciones. Saber cuál utilizar puede ayudar a prevenir gastar de más en materiales brutos. También puede ahorrar tiempo y dinero en procesamiento adicional. Comprender las diferencias entre el acero caliente y frío es parte integral para elegir el uno o el otro.

Acero laminado en caliente

El acero laminado en caliente es el acero que ha sido pasado por rodillos a muy altas temperaturas.

El acero laminado en caliente es el acero que ha sido pasado por rodillos a muy altas temperaturas—más de 1,700°F, lo que supera la temperatura de recristalización de la mayoría de aceros. Esto hace que al acero sea más fácil darle forma y resulta en productos que son más fáciles de trabajar.

Para procesar el acero laminado en caliente, los fabricantes primero empiezan con un gran trozo rectangular de metal llamado palanquilla. La palanquilla se calienta y luego se envía para preprocesamiento, donde se aplana para formar un rollo grande. De ahí, se mantiene a una alta

temperatura y se pasa a través de una serie de rodillos para lograr sus dimensiones finales. Las hebras de acero blancas y calientes se pasan a través de rodillos a altas velocidades. Para metal en hojas, el acero laminado se enrolla en rollos y se deja enfriar. Para otras formas, como barras o placas, los materiales se dividen y se empaican.



Figura 2.6. Laminado en caliente.

El acero laminado en caliente es ideal para productos donde no se requieren tolerancias estrictas. El acero se encoge un poco mientras se enfría. Dado que el acero laminado en caliente se enfría después del procesamiento, hay menos control sobre su forma final, haciéndolo menos adecuado para aplicaciones de precisión. El acero laminado en caliente con frecuencia se utiliza en aplicaciones donde las dimensiones minuciosamente específicas no son cruciales. Las vías férreas y los proyectos de construcción con frecuencia utilizan acero laminado en caliente.

El acero laminado en caliente con frecuencia puede ser identificado por las siguientes características:

- Una superficie rugosa—un remanente del enfriamiento desde temperaturas extremas
- Bordes y esquinas ligeramente redondeadas para productos de barras y placas (debido al encogimiento y menor acabado)
- Distorsiones ligeras, donde el enfriamiento puede resultar en formas ligeramente trapezoidales, a diferencia de ángulos perfectamente cuadrados

¿Cuáles son los beneficios del acero laminado en caliente?

El acero laminado en caliente típicamente requiere mucho menos procesamiento que el acero laminado en frío, lo que lo hace mucho más barato. Debido a que al acero laminado en caliente se le permite enfriarse a temperatura ambiente, es **prácticamente normalizado**—quiere decir que está libre de estrés interno que puede surgir de los procesos de templear o endurecer mecánicamente.

El acero laminado en caliente es ideal donde las tolerancias dimensionales no son tan importantes como la resistencia del material en general, y donde el acabado superficial no es una preocupación clave. Donde el acabado superficial es una preocupación, la rugosidad puede ser removida por molido, arenado o decapado por baño en ácido. Una vez se remueve la rugosidad, varios acabados de cepillo o espejo pueden ser aplicados también. El acero con rugosidad removida también ofrece una mejor superficie para pintura y otras cubiertas de superficie.

2.3. Acero laminado en frío

Los aceros trabajados en frío típicamente son más duros y fuertes que los aceros estándar laminados en caliente.

El acero laminado en frío es esencialmente acero laminado en caliente **que ha pasado por más procesamiento**. Una vez el acero laminado en caliente se ha enfriado, se relamina a

temperatura ambiente para alcanzar dimensiones más exactas y mejores cualidades de superficie.

El acero “laminado o rolado” en frío con frecuencia se utiliza para describir un rango de procesos de acabado, aunque técnicamente “laminado en frío” aplica únicamente para hojas que se someten a compresión entre rodillos. Las formas de acero que se sacan, como barras o tubos, son “dibujadas”, no laminadas. Otros procesos de acabado incluyen doblar, moler y pulir—cada uno de ellos se utiliza para modificar el inventario existente de laminado en caliente a productos más refinados.

El acero laminado en frío puede con frecuencia ser identificado por las siguientes características:

- Superficies mejores y más acabadas con tolerancias más cercanas
- Superficies lisas que con frecuencia son grasosas al toque
- Las barras son verdaderas y cuadradas, y con frecuencia tienen bordes y esquinas bien definidas
- Los tubos tienen mejor uniformidad concéntrica y rectitud



Figura 2.7. El acero laminado en frío es ideal para productos que demandan dimensiones exactas y características de superficie mejoradas.

¿Cuáles son los beneficios del acero laminado en frío?

Con mejores características de superficie que el acero laminado en caliente, no es sorpresa que el acero laminado en frío se utiliza con más frecuencia para aplicaciones técnicamente más precisas, o donde la estética es importante. Pero debido al procesamiento adicional para los productos de acabado en frío, estos vienen a un mayor precio.

En términos de características físicas, los aceros laminados en frío son típicamente más duros y fuertes que los aceros estándar laminados en caliente. A medida que se le da forma al metal a las menores temperaturas, el acero se endurece, la resistencia contra la tensión de rotura y contra la deformación se incrementan debido al endurecimiento mecánico.

Estos tratamientos adicionales, sin embargo, pueden también crear estrés interno dentro del material. Esto puede causar deformación impredecible si al acero no se le alivia la presión antes de cortar, moler o soldar.

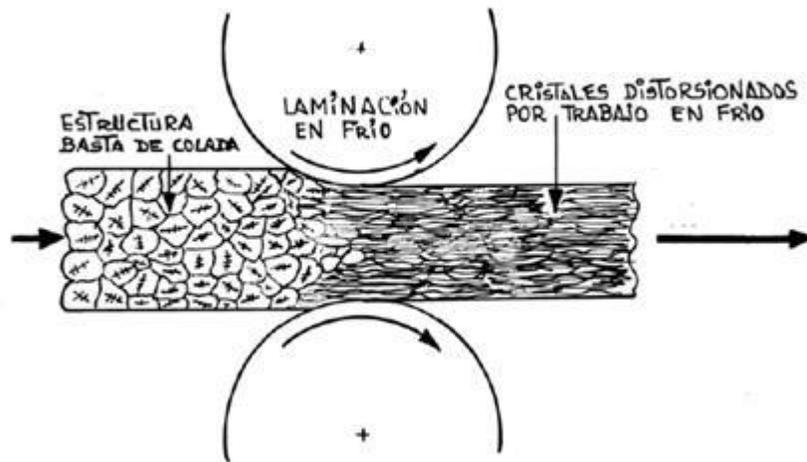


Figura 2.8. Modificación de la estructura del acero.

CAPITULO 3

PROCESO DE FORJA

Es una de las operaciones más antiguas de trabajo de metales; se practicaba cuando menos desde 4000 a.C., y quizá desde 8000 a.C. se usó primero para fabricar, joyería, monedas y diversos implementos martillando el metal con herramientas de piedra. Se pueden hacer operaciones sencillas de forja con un marro de mano o maceta y un yunque como lo hacen los herreros de forma tradicional. Sin embargo la mayor parte de las forjas requieren un conjunto de matrices y equipo como prensas y martinetes. <http://forjadoind.blogspot.mx/2016/05/forjado.html>

El forjado es un proceso en el que la pieza se conforma mediante fuerzas sucesivas de compresión aplicadas a través de diversos dados o matrices y herramientas. Hay que destacar que es un proceso de conformado de metales en el que no se produce arranque de viruta, con lo que se produce un importante ahorro de material respecto a otros procesos

Es el proceso consistente en cambiar la forma de un metal caliente por medio de golpes de un martillo pilón o por presión en una prensa. En el curso del forjado, el metal se hace más denso y se elevan sus propiedades mecánicas. Como material básico para la obtención de las piezas forjadas se utiliza el acero y algunas aleaciones a base de cobre, aluminio y magnesio.



Figura 3.1. Forjado de espadas

La forja es la forma más antigua de trabajar los metales, sus antecedentes se encuentran en la labor de los herreros y en las fraguas de los tiempos bíblicos y mitológicos. En sus orígenes representó la deformación del material (hierro) por efecto de martilleo al colocarlo sobre el yunque. La Revolución Industrial significó la sustitución de la fuerza del herrero por la de las máquinas. En la actualidad existe una gran variedad de equipos para forja, los cuales permiten la obtención de piezas de tamaños que van desde un remache hasta el rotor de una turbina.



Figura 3.2. Vulcano forjando las armas de Aquiles [Giulio Romano 1499-1546, colección Value Art]

3.1. Forja en frío

El metal que se forjado en frío está generalmente en o justo debajo de la temperatura ambiente. Este proceso funciona mejor en metales blandos. El metal se coloca en un molde y luego se golpea con un martillo, a veces varias veces, de modo que el metal se introduce en la matriz. El metal forjado en frío no requiere trabajos de acabado tanto como el metal forjado caliente, pero puede tener que ser tratado térmicamente para aumentar su resistencia.

3.2. Forja en caliente

El metal se forja con calor porque no requiere tanta fuerza como la forja en frío y reduce la tensión sobre el metal. En el proceso de forja en caliente, el metal se calienta por encima del punto de re-cristalización del metal. Para el acero es por encima de los 1148.89 °C, para las aleaciones de aluminio es entre 360 y 521.11 °C y aleaciones de cobre para esto es entre 699 y 760 °C.

Ventajas de la Forja en caliente.

El trabajo en caliente de los metales ha sido utilizado, para asegurar las mejores características mecánicas de los materiales y la más alta calidad en cualquier tipo de producto.

La forja es un proceso donde el profesional modela o deforma de manera controlada el material hasta lograr la forma deseada, mediante la aplicación de fuerzas de compresión, de forma intermitente o de forma continua. Por este motivo, la forja precisa de dos tipos de herramientas: las prensas y los martillos. Las prensas pueden ser mecánicas e hidráulicas. Los martillos funcionan mediante la caída por gravedad o la caída activada.

3.3. Forja con martinetes

Estos martinetes funcionan aplicando una descarga por impacto contra el material de trabajo. Se usa frecuentemente el término martinete de caída libre para designar, estas máquinas, por la forma de liberar la energía de impacto.

Los martinetes se usan más frecuentemente para forjado con dado impresor. La parte superior del dado de forjado se fija al pisón y la parte inferior se fija al yunque. En la operación, el material de trabajo se coloca en el dado inferior, el pisón se eleva y luego se deja caer sobre la pieza de trabajo. Cuando la parte superior del dado golpea el material de trabajo, la energía del impacto ocasiona que la parte tome la forma de la cavidad del dado. Se necesitan varios golpes de martillo para lograr el cambio deseado de forma. Los martinetes se pueden clasificar como martinetes de caída libre y martinetes de potencia.

Los martinetes de caída libre generan su energía por el peso de un pisón que cae libremente. La

fuerza del golpe se determina por la altura de la caída y el peso del pisón. Los martinets de potencia aceleran el pisón con presión de aire o vapor figura .Una desventaja del martinete de caída libre es que una gran parte de la energía del impacto se trasmite a través del yunque al piso del edificio.



Figura 3.3 Martinete para forja.

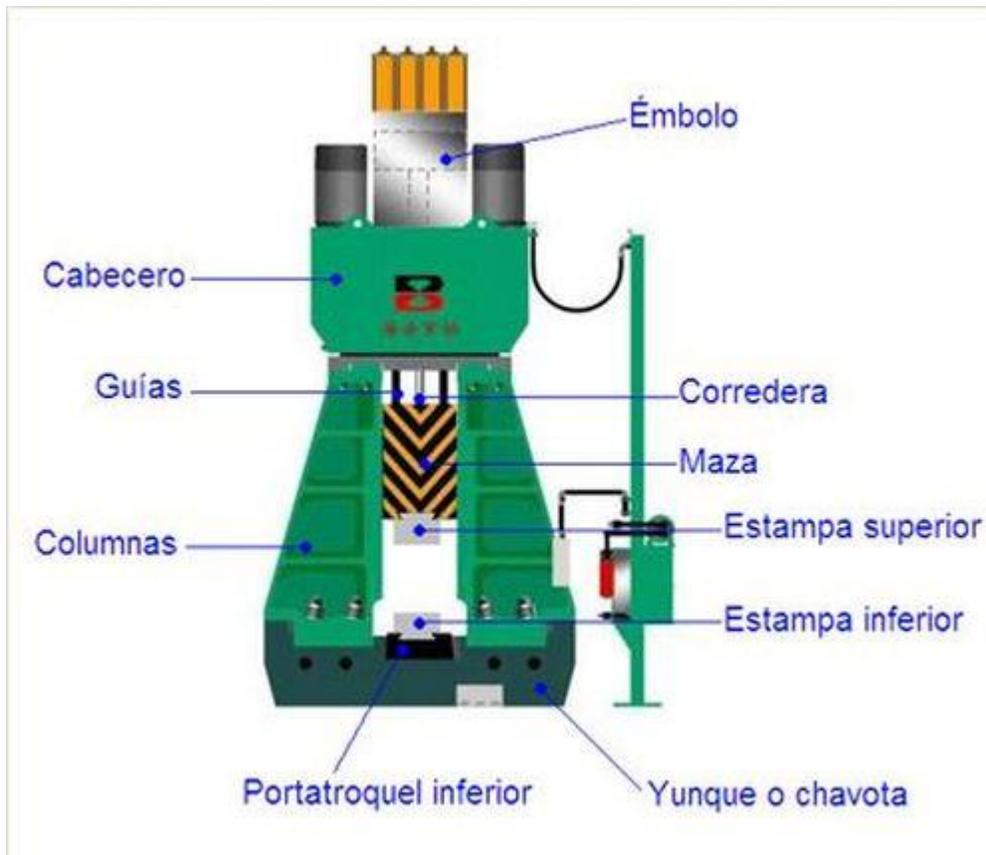


Figura 3.4. Componentes de un martinete de potencia

3.4. Forja con prensas

Las prensas aplican una presión gradual, en lugar de impactos repentinos para realizar las operaciones de forja figura. Las prensas de forjado incluyen prensas mecánicas, prensas hidráulicas y prensas de tornillo. Las prensas mecánicas funcionan por medio de excéntricos, manivelas y juntas o articulaciones de bisagra que convierten el movimiento giratorio de un motor en movimientos de traslación del pisón. Las prensas mecánicas típicas alcanzan fuerzas muy altas en el fondo del recorrido de forjado. Las prensas hidráulicas usan un cilindro hidráulico para accionar el pisón.

Las prensas de tornillo aplican la fuerza por medio de un tornillo que mueve al pisón vertical. Tanto las prensas de tornillo como las hidráulicas operan a velocidades bajas del pisón o ariete y pueden suministrar una fuerza constante a través de la carrera. Por tanto, estas máquinas son apropiadas para las operaciones de forjado (y otras operaciones de formado) que requieren grandes carreras.



Figura 3.4. Prensa hidráulica

Los productos forjados tienen características concretas. La forja posibilita la producción de un gran número de productos iguales. Presentan unas buenas propiedades mecánicas, como son la resistencia a la corrosión y la fatiga, y una gran tenacidad y ductilidad. Por los costes y medios de producción necesarios, la forja es una opción adecuada para la fabricación de un número elevado de piezas. Por otro lado, tras su elaboración, las superficies necesitan un tratamiento posterior. El diseño no es libre, tiene sus limitaciones, por lo que no se puede utilizar para todo tipo de piezas.



Figura 3.5. Ejemplos de piezas forjadas <http://ajkforge.com/images/product11.jpg>

3.5. Forja a dado abierto

Este forjado es un proceso muy sencillo, la mayor parte de piezas forjadas con este método pesan de 15 a 500 kg, se han forjado piezas hasta de 300 toneladas, como por ejemplo hélices de barco.

Este proceso se puede describir como una pieza sólida colocada entre dos matrices planas o dados, cuya altura se reduce por compresión. Este proceso también recibe el nombre de recalado o forjado con dado plano. Las superficies del dado pueden tener cavidades sencillas para producir forjados sencillos. En este proceso se mantiene el volumen constante, toda la reducción de la altura provoca el aumento del diámetro de la pieza forjada.

En las operación reales de forjado con dado plano la pieza no se deforma exactamente de forma uniforme sino que desarrolla una forma embarrilada llamada “pancaking” debida principalmente a las fuerzas de rozamiento en la interfaces entre pieza y dado que se opones al flujo de los materiales hacia fuera, éste fenómeno puede reducirse con el uso de un lubricante eficaz.

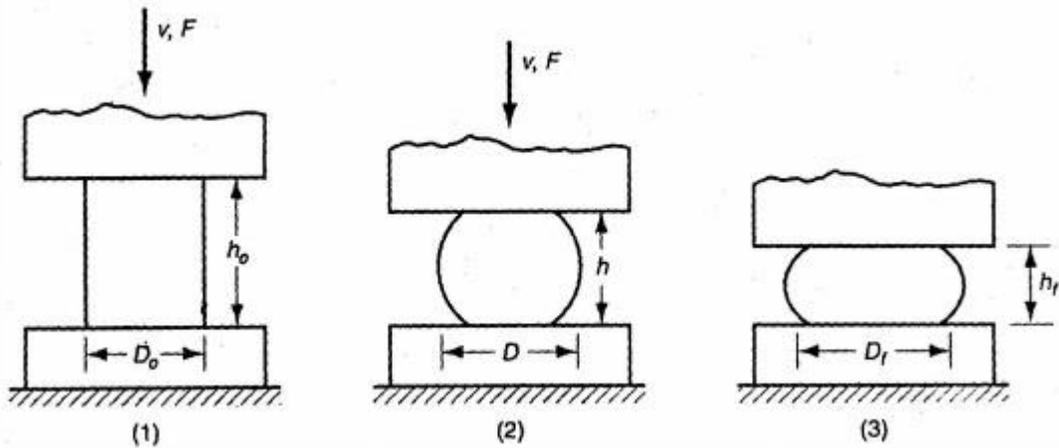


Figura 3.6. Deformación cilíndrica real de una parte de trabajo en forjado en dado abierto mostrando un abarrilamiento pronunciado

- **Ventajas y desventajas del forjado con dado abierto**

Este proceso de forjado cuenta con una serie de ventajas y desventajas.

- **Ventajas:**

- Sencillez de sus dados que hacen el proceso bastante económico.
- Útil para un número pequeño de piezas a realizar.
- Amplia gama de tamaños disponibles.
- Altos valores de resistencia.

- **Desventajas:**

- Limitación en la forma del dado a la hora de crear piezas complejas.
- Necesidad de obtener la forma final mediante maquinaria.
- Poca capacidad de producción.
- Mala utilización del material a procesar.
- Destreza para llevar a cabo el proceso correctamente.

3.6. Forjado con dado cerrado

Se realiza con dados que tienen la forma inversa a la requerida para la parte. La pieza de trabajo inicial se muestra como una parte cilíndrica. Al cerrarse el dado y llegar a su posición final, el metal fluye más allá de la cavidad del dado y forma una rebaba en la pequeña abertura

entre las placas del dado. Aunque la rebaba se recorta posteriormente, tiene realmente una función importante en el forjado por impresión, ya que cuando ésta empieza a formarse, la fricción se opone a que el metal siga fluyendo hacia la abertura, y de esta manera fuerza al material de trabajo a permanecer en la cavidad. En el formado en caliente, la restricción del flujo de metal es mayor debido a que la rebaba delgada se enfría rápidamente contra las placas del dado, incrementando la resistencia a la deformación.

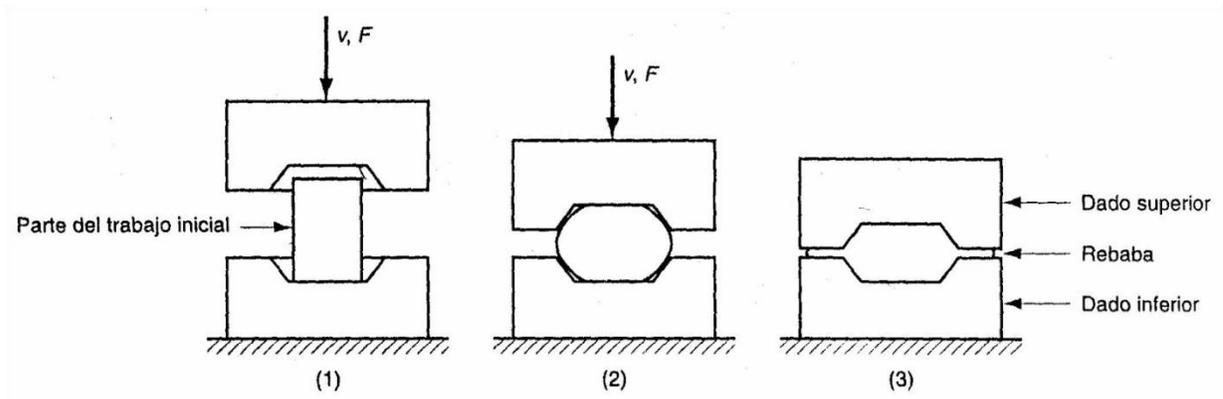


Figura 3.7. Forja con dado cerrado

Ventajas y desventajas del forjado con dado cerrado

Este proceso de forjado cuenta con una serie de ventajas y desventajas.

- Ventajas:

- Buena utilización del material a procesar.
- Obtención de piezas con mejores propiedades mecánicas que las obtenidas en forja con dado abierto.
- Buena precisión dimensional.
- Gran capacidad de producción y reproductibilidad.

- Desventajas

- Gran coste de los dados para bajo número de piezas a producir.
- Necesidad del maquinado para la obtención del producto final.

Calidad del Material

A partir de la colada, hecha en la siderúrgica, se elaboran las palanquillas, las cuales son laminadas en caliente, éste proceso proporciona al material una estructura con granos pequeños y alargados, que se orientan en el sentido de la laminación. A esto se le conoce como fibras de material.

El proceso de laminado en caliente le da una mayor solidez metalúrgica al material, al eliminar poros, perfeccionar la estructura cristalina del metal y dar la orientación direccional. Así, el material va a tener las mejores características mecánicas.

La forja utiliza el sentido de las fibras para ubicarlas de tal manera que la pieza obtenga la mejor resistencia.

La combinación de una deformación controlada y un calentamiento apropiado, generan una mayor precisión para cada utilidad en particular.

Alta Resistencia

Debido a la reorientación y al refinamiento de los granos, se produce una uniformidad del material, la cual confiere una mejor respuesta a los tratamientos térmicos. Por consiguiente es posible desarrollar la máxima resistencia de un material con la mínima variación de propiedades entre pieza y pieza.

Gracias a su gran resistencia, solidez, uniformidad química y tamaño de grano fino, la forja es más apropiada en muchas aplicaciones que la fundición.

También es más resistente que la soldadura, cuya eficiencia es rara vez el 100%. Una soldadura es metalúrgicamente una ranura en elementos con altos esfuerzos, requiere una inspección muy detallada (rayos X, Ultrasonidos, etc.).

Integridad Estructural

La forja asegura la eliminación de burbujas de gas o vacíos, que pueden ser causa de una falla inesperada.

Las piezas forjadas son calentadas, prensadas, dobladas y tensionadas, por lo cual, cualquier defecto interno será sellado y corregido, las deformaciones internas rara vez se presentan.

Resistencia a la fatiga y al impacto

El proceso de forja, mediante la orientación de las fibras, desarrolla en el material la máxima resistencia a la fatiga y al impacto que se puedan conseguir. Ningún otro proceso de trabajo de metales logra estas cualidades.

Para el diseño de piezas es importante la relación peso-resistencia. La forja permite reducir secciones, sin arriesgar especificaciones ni seguridad.



Figura 3.8. Orientación de las fibras obtenido mediante forja.

Alta Uniformidad

La forma geométrica de la pieza se obtiene con un troquel metálico, esto garantiza uniformidad dimensional y estructural. En la forja se logra que una pieza sea idéntica a la otra; por lo anterior es una ventaja para:

- Tratamiento Térmico.
- Maquinado.
- Inspecciones.

Aunque puede no ser el método más económico para hacer productos en ciertas geometrías, la historia ha demostrado que la forja tiene el más alto nivel de precisión y combinación de propiedades mecánicas.

CAPITULO 4

ESTIRADO Y TREFILADO

4.1 El estirado en frío

Los perfiles estructurales de acero y otras aleaciones pueden ser fabricados por medio de una técnica sumamente conocida y empleada en la industria siderúrgica, el estirado en frío.

El proceso de estirado en frío consiste en estirar longitudinalmente una varilla o barra de acero, reduciendo su diámetro y mejorando su límite elástico; este proceso se realiza sin calentar previamente el metal.

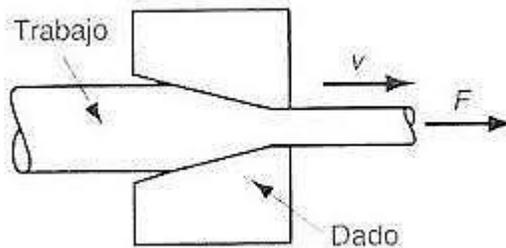
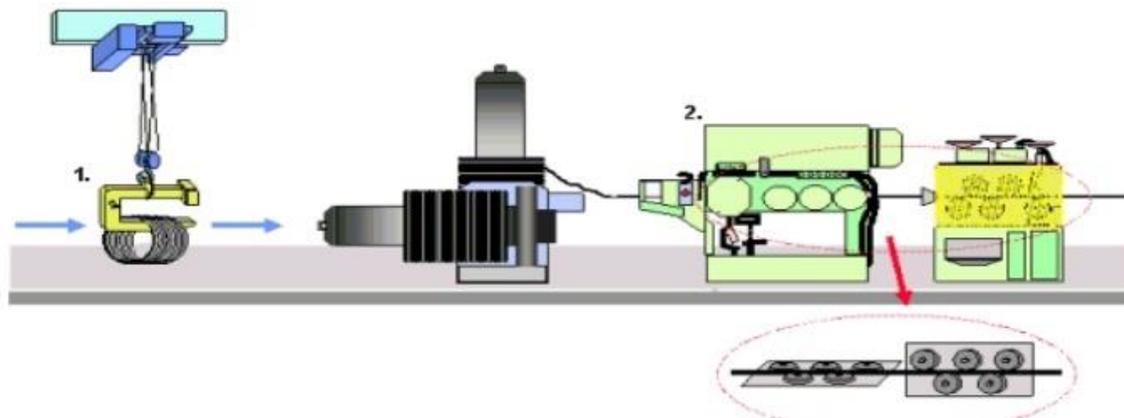


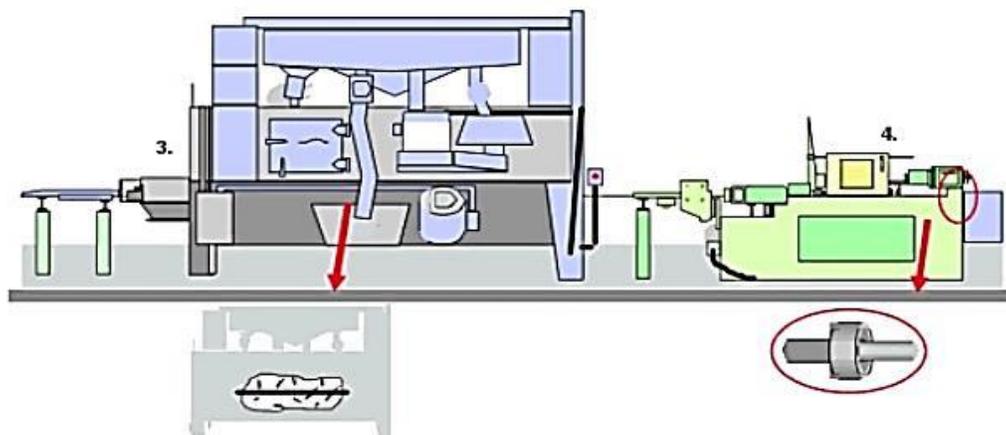
Figura 4.1. Estirado de alambre

4.2. ¿Cómo es el proceso de estirado en frío?

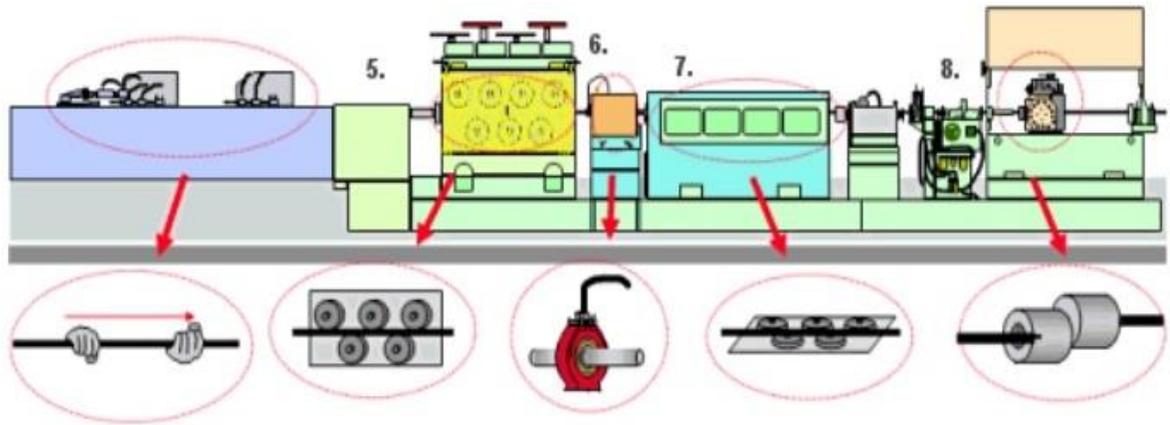
1. El proceso comienza con rollos de acero laminado en caliente o barras rectas laminadas en caliente de la acerería. Cuando se usan barras roladas en caliente se estiran en forma individual y cuando se usan rollos, las grúas tienen ganchos en C para levantarlos en forma segura y colocarlos en la desenrolladora.
2. El acero pasa por la “desenrolladora” e ingresa en los rodillos preenderezadores horizontales y verticales para “borrar” la memoria del rollo.



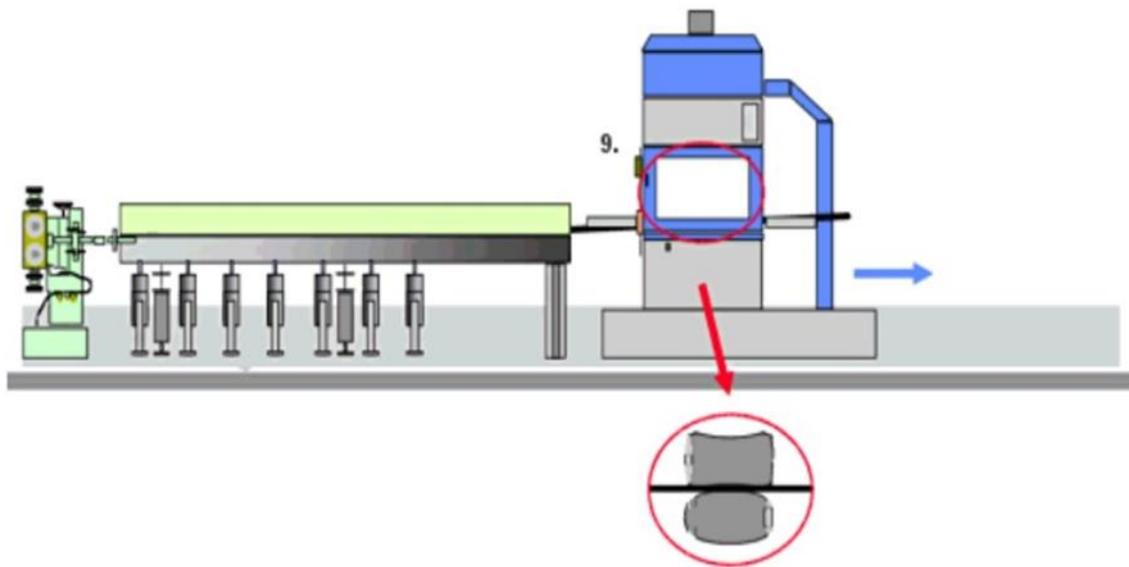
3. El acero continúa su camino por la chorreadora para poder quitar todo rastro de óxido de la superficie de la barra}
4. Después, el acero se introduce por una matriz, posteriormente, la unidad de trefilado pasa por el acero por la misma matriz, en un movimiento constante.



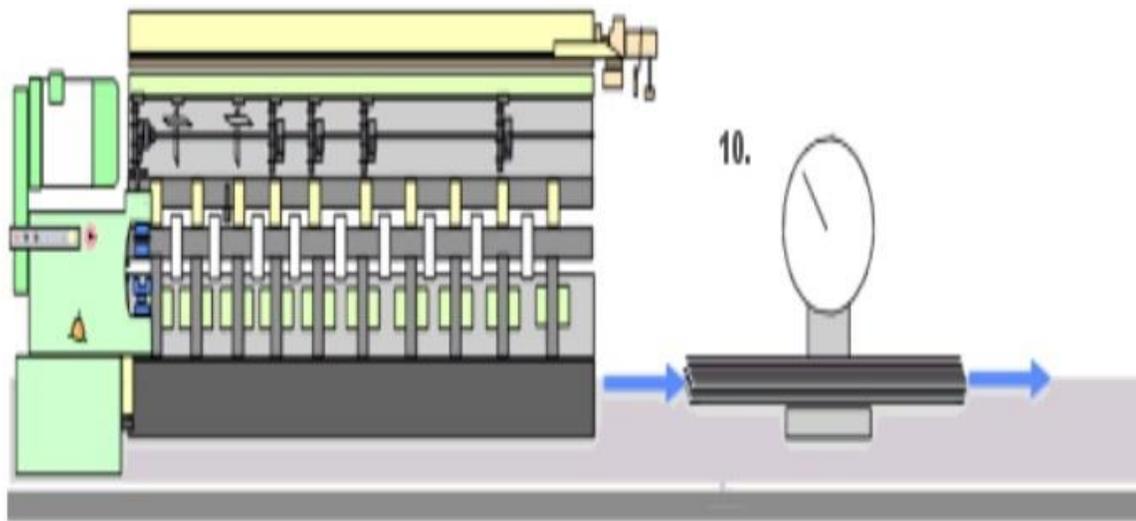
5. El enderezamiento continuo se mantiene al pasar el acero por más rodillos
6. En todas las líneas existen pruebas no destructivas para garantizar la detección y corrección de los defectos de la superficie de la materia prima
7. Existen más etapas de enderezamiento en toda la línea de estirado.
8. Las cizallas de cilindros o de cuchillas cortan la barra según el largo deseado por el cliente.



9. El proceso de enderezamiento final se lleva a cabo en la máquina de dos rodillos, cuando la barra pasa por los grandes rodillos cóncavo y convexo. Las hojas guías, los ángulos y la presión contribuyen a la rectitud final de la barra.

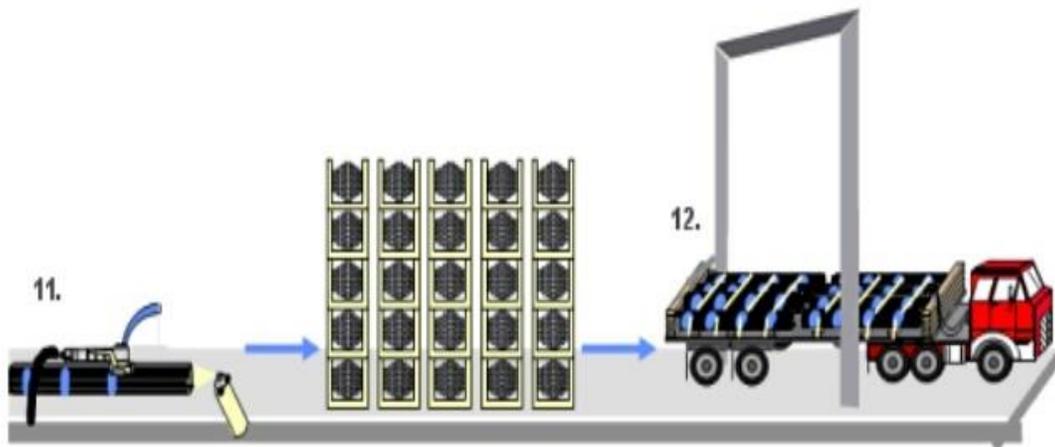


10. Las barras rectas acabadas en frío se acumulan en la superficie de salida, donde son pesadas



11. El haz terminado se amarra con tirantes y ganchos de acero, el extremo del haz se pinta según las especificaciones del cliente y se identifica con una etiqueta

12. Los clientes notifican sobre cuándo necesitan el acero y los haces se seleccionan del inventario y se colocan sobre camiones para su embarque.



CAPITULO 5

EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso por compresión en el cual el metal de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal. Ejemplos de este proceso son secciones huecas, como tubos, y una variedad de formas en la sección transversal.

Los tipos de extrusión dependen básicamente de la geometría y del material a procesar. Existe el proceso de extrusión directa, extrusión indirecta, y para ambos casos la extrusión en caliente para metales (a alta temperatura). En la extrusión directa, se deposita en un recipiente un lingote en bruto llamado tocho, que será comprimido por un pistón, al ser comprimido, el material se forzarán a fluir por el otro extremo adoptando la forma que tenga la geometría del dado.

5.1. Extrusión directa

La extrusión directa, también conocida como extrusión delantera, es el proceso más común de extrusión. Éste trabaja colocando la barra en un recipiente fuertemente reforzado. La barra es empujada a través del troquel por el tornillo o carnero. Hay un dummy block reusable entre el tornillo y la barra para mantenerlos separados. La mayor desventaja de este proceso es la fuerza requerida en la extrusión de la barra, es mayor que la necesitada en la extrusión indirecta porque la fuerza de fricción introducida por la necesidad de la barra de recorrer completamente el contenedor.

La mayor fuerza requerida es al comienzo del proceso y decrece según la barra se va agotando. Al final de la barra la fuerza aumenta grandemente porque la barra es delgada y el material debe fluir no radialmente para salir del troquel.

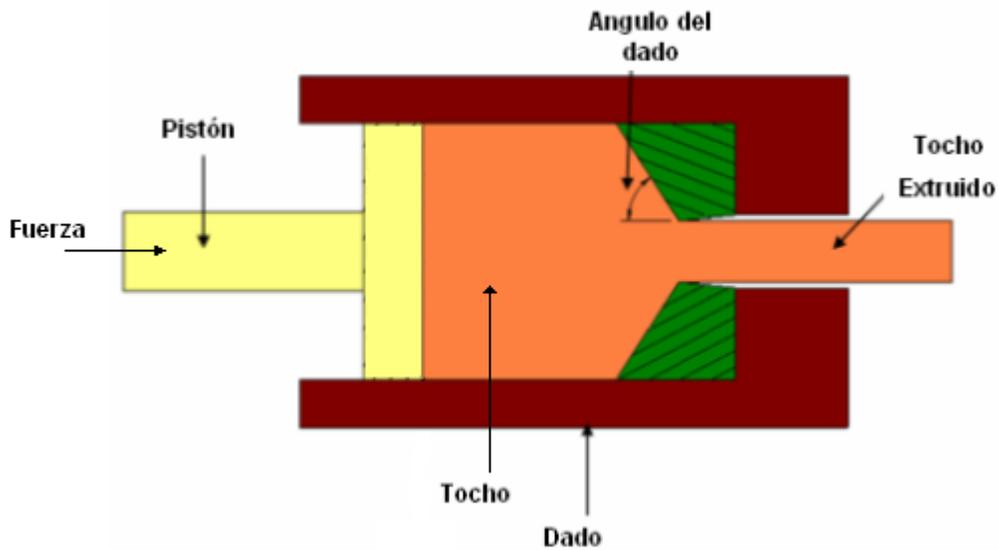


Figura 5.1. Extrusión directa

5.2. Extrusión indirecta

En la extrusión indirecta, también conocida como extrusión retardada, la barra y el contenedor se mueven juntos mientras el troquel está estacionario. El troquel es sostenido en el lugar por un soporte el cual debe ser tan largo como el contenedor. La longitud máxima de la extrusión está dada por la fuerza de la columna del soporte. Al moverse la barra con el contenedor, la fricción es eliminada.

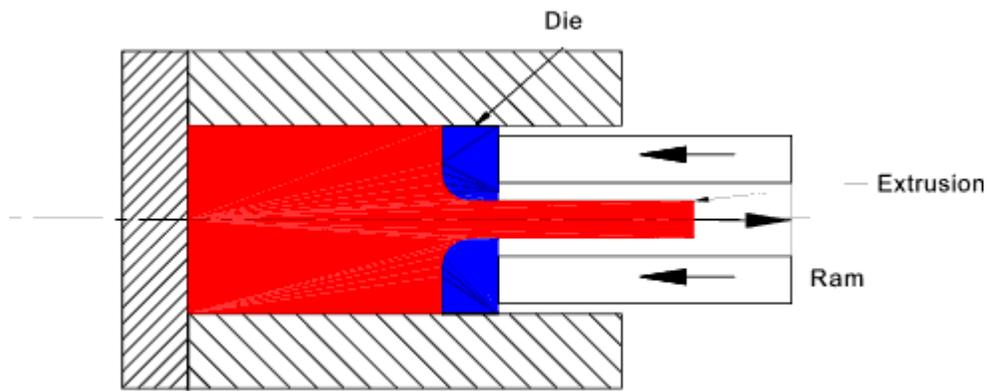


Figura 5.2. Extrusión indirecta

-Ventajas:

- Una reducción del 25 a 30% de la fuerza de fricción, permite la extrusión de largas barras.
- Hay una menor tendencia para la extrusión de resquebrajarse o quebrarse porque no hay calor formado por la fricción.
- El recubrimiento del contenedor durará más debido al menor uso.
- La barra es usada más uniformemente tal que los defectos de la extrusión y las zonas periféricas ásperas o granulares son menos probables.

-Desventajas:

- Las impurezas y defectos en la superficie de la barra afectan la superficie de la extrusión. Antes de ser usada, la barra debe ser limpiada o pulida con un cepillo de alambres.
- Este proceso no es versátil como la extrusión directa porque el área de la sección transversal es limitada por el máximo tamaño del tallo.

5.3. Extrusión hidrostática

En la extrusión hidrostática la barra es completamente rodeada por un líquido a presión, excepto donde la barra hace contacto con el troquel. Este proceso puede ser realizado en caliente, tibio o frío. De cualquier modo, la temperatura es limitada por la estabilidad del fluido usado.

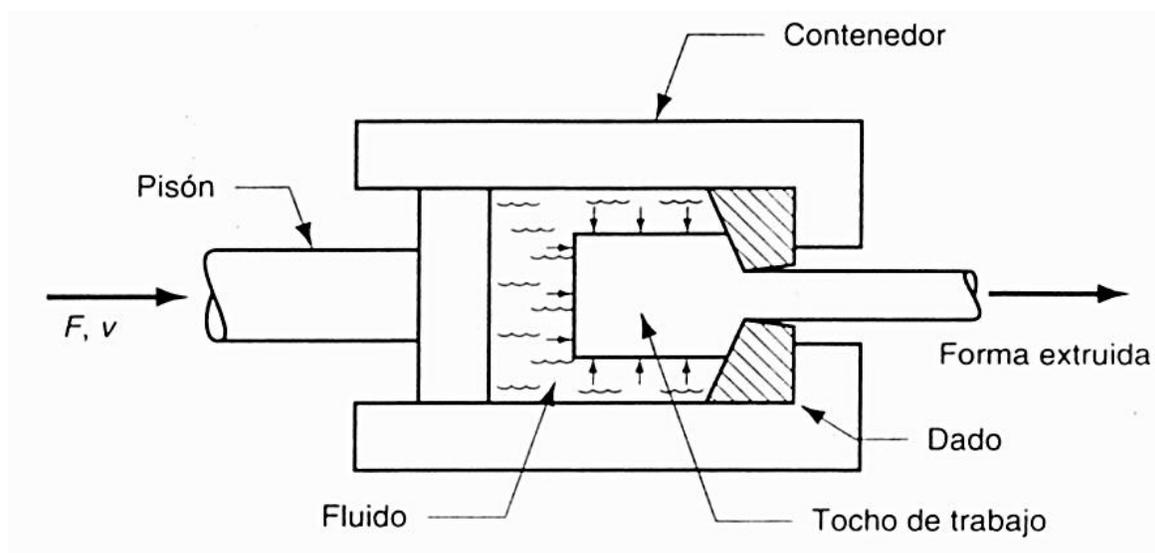


Figura 5.3. Extrusión hidrostática.

-Ventajas:

- No fricción entre el contenedor y la barra, reduciendo la fuerza requerida. Esta finalmente permite mayores velocidades, proporciones de la reducción más altas y menores temperaturas de la barra.
- Usualmente la ductilidad del material disminuye cuando altas presiones son aplicadas.
- Largas barras y largas secciones transversales pueden ser extruidas.

-Desventajas:

- Las barras deben ser preparadas, adelgazado un extremo para que coincida con el ángulo de entrada del troquel. Esto es necesario para formar un sello al principio del ciclo. Usualmente las barras enteras necesitan ser pulidas para quitarles cualquier defecto de la superficie.
- Contener el fluido en altas presiones puede ser dificultoso.

CAPITULO 6

EMBUTIDO PROFUNDO

6.1 Embutido profundo (<https://www.autoform.com/es/glosario/embuticion-profunda/>)

El embutido profundo es uno de los procesos más usados en el conformado de chapa metálica. Además de su uso en otros sectores, se aplica en la industria de la automoción para la fabricación de las piezas de la carrocería.

Definición del proceso:

El proceso de embutición profunda es un proceso de conformado que sucede bajo la combinación de condiciones de tracción y compresión. Una chapa metálica plana se conforma dentro de un cuerpo hueco abierto por un lado, o bien, un cuerpo hueco se conforma en otro de una sección transversal menor.

Los procesos de embutición profunda se dividen en tres tipos:

- Embutición profunda con herramientas
- Embutición profunda con recursos activos
- Embutición profunda con energía activa

En la industria de la automoción, la embutición profunda normalmente se realiza con herramientas rígidas.

La figura 6.1. ilustra el proceso de embutición profunda. Las herramientas rígidas son punzón, matriz y pisador. En el proceso de embutición, el pisador cierra una vez se ha insertado el formato de chapa.

A continuación la chapa se sujeta entre la matriz y el pisador. Este proceso reduce el flujo de entrada de material durante la embutición y además previene las arrugas bajo el pisador. El punzón forma la chapa deslizándola sobre el radio de la matriz y la conforma dentro de la matriz. La cantidad de fuerza necesaria en el punzón para el conformado aumenta continuamente hasta el punto muerto inferior del punzón.

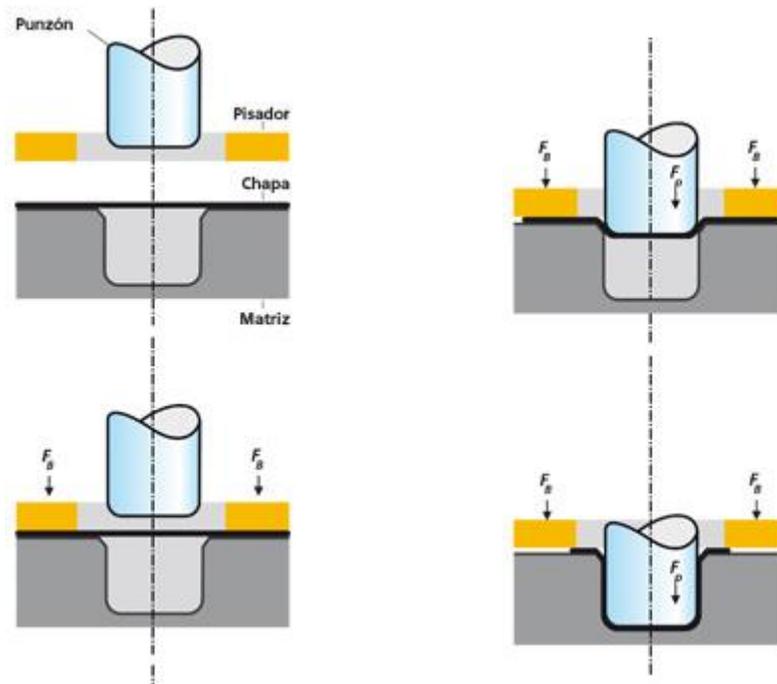


Figura 6.1. Proceso de embutición profunda

Considerando que en la embutición profunda pura no hay reducción del espesor de la chapa metálica, el conformado se consigue con el estiramiento puro de la chapa metálica con el resultado de una disminución en su espesor. El conformado por estiramiento se usa ampliamente para el conformado de piezas ligeramente curvas con poca profundidad de embutido (ej. techos y puertas).

En la práctica, en la elaboración de carrocerías de coche complejas, hay normalmente una combinación de estiramiento y embutición profunda. Es necesario estirar la chapa metálica tanto como sea posible sin llegar a alcanzar los límites del material (e.j. roturas, arrugas).

Hay aproximadamente entre 300 y 400 piezas de chapa que se ensamblan juntas para formar la carrocería del coche. Para producir piezas de chapa metálica de una alta calidad óptima, el proceso completo de embutición profunda se simula con un software especializado, figura 6.2.

BIBLIOGRAFÍA

1. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema3.ProcesosConformadoFrio.MaterialesMetalicos.pdf>
2. <http://psmprocesos.blogspot.mx/2016/02/deformacionen-frio-en-caliente-la.html>
3. <http://slideplayer.es/1052683/3/images/5/Recocido%3A+Recuperaci%C3%B3n+Recristaliza+de+grano+Tiempo.jpg>
4. <http://www.reliancefoundry.com/blog/acero-laminado-frio-vs-caliente-es#gref>
5. <http://ajkforge.com/images/product11.jpg>
6. <https://www.autoform.com/es/glosario/embuticion-profunda/>