Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Ingeniería Mecánica.

Procesos de Manufactura.

M. en C. Roberto Carlos García Gómez

Unidad 3: Procesos de conformado de metales

Procesos de conformado de metales

Los procesos de conformado de metales que se van a tratar en ésta unidad son:

- Laminación
- Forja
- Estirado
- Extrusión
- Doblado
- Doblado con rodillos.
- Embutido.
- Conformación con hule.
- Abocardado de tubos.
- Repujado.
- Estirado de lámina.

En estos procesos se comprime el metal obteniendo la forma deseada.

Algunos ejemplos de formas de estos productos son:

a) Vigas estructurales.
b) Canales y ángulos.
c) Rieles de ferrocarril.
d) Barras redondas cuadradas y hexagonales.
e) Tubos y piezas para tuberías.
f) Forjas y perfiles extruídos.
g) etc.

Los metales trabajan a presión en los procesos de conformado por 2 razones:

1.- Para desarrollar formas deseadas.
2.- Para mejorar las propiedades físicas.

El trabajo de conformación se puede realizar de 2 maneras:

1.- Trabajo en caliente
2.- Trabajo en frío

Conformado de metal en caliente

- Las propiedades de un metal son diferentes cuando están arriba y cuando están abajo de su temperatura de recristalización.
- La resistencia de un material disminuye conforma aumenta la temperatura y sus granos pueden distorsionarse con más facilidad.

- Entonces los metales cuando están por encima de su temperatura de cristalización son más fáciles de trabajar, por lo que comúnmente se tiene que calentar el metal, además que las fuerzas que se utilizan para el conformado son menores que en el conformado en frío.

El trabajo en caliente se hace por arriba de la temperatura crítica para obtener la mayoría de los beneficios en el proceso pero no a temperaturas muy altas para que no se promueva el engrosamiento extremo de granos.

Operaciones de trabajo en caliente:

a) Laminado
b) Forjado
- Forja de herrero o con martillo
- Forja con martinete
- Forja horizontal
- Forja con prensa
- Forja de laminado
- Estampado

c) Extrusión
d) Manufactura de tubos
e) Embutido
f) Rechazado en caliente
g) Métodos especiales

Operaciones de trabajo en caliente

1. - ***Laminado:*** Consiste en pasar y comprimir el metal por medio de dos rodillos. Los cristales se alargan en la dirección del laminado y el material emerge a una velocidad más rápida que la de entrada.

Se utiliza procesando lupias, tochos y planchas para la producción de placas, laminas, barras, formas estructurales u hojalata.

2. - ***Forjado:*** Se produce por presión o por impacto, lo cual obliga al metal caliente y flexible a llenar la forma de los dados.
a) Forja abierta o de herreo: Consiste en martillar el metal caliente, ya sea con herramientas manuales o entre dados planos en un martillo de vapor.
b) Forja con martinete: Consiste en martillar el metal caliente, ya sea con herramientas manuales o entre dados aplanados con un martillo de vapor (martinete).
c) Forja horizontal: Implica la sujeción de una barra de sección uniforme en dados y se aplica una presión sobre el extremo caliente.
d) Forja con prensa: Se emplea una acción lenta de compresión, para deformar el metal plástico y provoca un corrimiento más uniforme de la misma.
e) Forja de laminado: Es la operación de reducción y adelgazamiento de longitudes limitadas de barras de pequeña longitud.
f) Estampado: Consiste en el martilleo y laminación de varillas o tubos para obtener formas más pequeñas con reducciones.

3.- ***Extrucción:*** Es el método por el cual los metales plásticos se pueden extruir a un perfil de sección transversal uniforme con la ayuda de la presión.

4.- ***Manufactura de tubos***: Los accesorios tubulares y tuberías, pueden hacerse por soldadura eléctrica o a tope, plancha por formado de tubos, perforado y extrusión.

5.- ***Embutido:*** Se calienta una lupia a una temperatura de forja y con un punzón de penetración operado con una prensa vertical, la lupia se forma por forja dentro de un extremo hueco cerrado. La pieza formada es recalentada y colocada en el banco de estirado en caliente que consiste de algunos dados, aunque decrecen sucesivamente en diámetro, montados en un bastidor.

6. - ***Rechazado en caliente :*** Se usa comercialmente para conformar o formar placas circulares gruesas de alguna forma sobre un cuerpo giratorio y estrangular o cerrar los extremos del tubo.

7. - ***Método especial:*** Son métodos que se utilizan o se realizan para cuando se tengan secciones más delgadas en piezas forjadas en las que se pueden emplear dados calientes. Se puede usar un lubricante para reducir la oxidación superficial, se pueden obtener tolerancias más cerradas, y se puede incrementar el ritmo de producción.

Las ventajas y desventajas de comprimir y trabajar en caliente es:
Ventajas

- El verdadero trabajo en caliente no cambia la dureza o ductilidad del metal.
- El metal se hace más tenaz debido a que los granos se deforman en cristales más pequeños y más numerosos.
- El metal se hace más tenaz debido a que sus poros se cierran y segregan las impurezas.
- Se requiere menos fuerza, el proceso es más rápido y pueden usarse máquinas más pequeñas para una cantidad dada de trabajo en caliente en comparación con el trabajo en frío debido a que es más débil.
- El metal puede empujarse a formas extremas cuando está caliente sin roturas ni desgastes debido a que los cristales son más plegables y se forman continuamente.
- Se pueden usar maquinas más pequeñas para una cantidad dada de trabajo en caliente debido a que es más débil
- E l metal puede empujarse a formas extremas cuando esta caliente sin roturas ni desgastes debido a que los cristales son más plegables y se forman continuamente.

El trabajo en caliente se hace por arriba de la temperatura crítica para obtener la mayoría de los beneficios en el proceso pero no a temperaturas muy altas para que no se promueva el engrosamiento extremo de granos.

Desventajas

- Precisión de las dimensiones relativamente baja
- Precisión geométricamente baja
- Ausencia de derecha
- Mal acabado
- Estructura granular nula; debido al enfriamiento lento a partir de temperaturas elevadas

Conformado de metal en frío

- El metal trabajado en frío se forma por aplicación y temperatura abajo de la crítica y en mayor parte nominalmente a la temperatura ambiente.

- El trabajo en frío se hace principalmente para mantener las tolerancias estrechas y producir buenos acabados de superficie, pero también mejora las propiedades del material.
- Mientras más se trabaje en frío el material, más cercanas estarán las propiedades a las de un material frágil (este se endurece cada vez más).
- En el trabajo en frío deben ejercerse deben ejercerse fuerzas relativamente grandes; esto significa que el equipo debe ser proporcionalmente poderoso y grande en particular para producción rápida.
- El trabajo en frio realizado en el metal (a una temperatura abajo de la recristalización) en estado plástico, refina la estructura del grano mientras que el trabajo en frío distorsiona el grano y reduce un poco su tamaño. El trabajo en frío mejora su resistencia, maquinabilidad, exactitud dimensional y terminada de la superficie del metal.

Operaciones de trabajado en frío:

a) Estirado
- Barras
- Tubos
- Repujado
- Alambre
- Rechazado de metal
- rechazado cizallado
- Formado por estirado
- Formado por embutido

b) Compresión
- Acuñado
- Laminado en frío
- Calibrado
- Formado o forja en frío
- Interformado
- Roscado, laminado y moleteado
- Remachado
- Estacado

c) Doblado angular
- Doblado
- Rolado por formado
- Doblado de placa
- Rebordeado
- Engargolado

d) Cizallado
- Troquelado
- Punzonado
- Corte
- Recorte
- Perforado
- Escopleado
- Ranurado
- Lancetado
- Cepillado

e) Alta relación de energía

- Explosión
- Electrohidráulica
- Magnética
- En frío
- Por impacto

f) Embutido
g) Extruido
h) Granallado

Operaciones de trabajo en frío

1.- ***Estirado:*** Es un proceso de alargamiento que se aplica a los metales para obtener ciertas características.
a) Estirado de barras. Consiste en que se endurece el metal y le da un acabado terso adecuado para flechas o ejes de Máquinas.
b) Estirado de tubos. Consiste en que el metal se fuerza arriba del límite elástico para permitir el flujo plástico a través del dado.
c) Rempujado. Es más que una operación de estirado o alargado y no requiere de alta presión, necesaria para el acuñado. Se usa para la manufactura de emblemas, medallones, etiquetas de identificación y dibujos estéticos sobre lámina delgada u hojalata.
d) Estirado de alambre. El alambre se hace estirando en frío alambrón laminado en caliente a través de uno o más dados similares para disminuir su tamaño e incrementar sus propiedades físicas.
e) Rechazado de metal. Es la operación de formado de metal delgado presionándolo contra una forma mientras gira.
f) Rechado de cizallado. Es el rechazado de placas metálicas gruesas, aquí deben usarse potentes rodillos conductores en lugar de herramientas convencionales de rechazado.
g) Formado de estirado. Es el formado de grandes láminas delgadas metálicas que incluyan formas simétricas con doble curvatura, o dobleces con curvas dobles.
h) Formado por embutido. Proceso en el cual, se forman láminas de espesor adecuado al tipo de punzón que se requiera para poder formar éstas láminas que además estarán sujetadas.

2.- ***Compresión :*** Es un medio rápido y de uso amplio para formar materiales dúctiles en la forma deseada.
a) Acuñado. Se realiza una estampa de desplazamiento positivo sobre un metal confinado por completo en un juego de matrices. Aquí se requieren altas presiones de trabajo.
b) Laminado en frió. Consiste en alterar en forma permanente la estructura de los granos o cristales del metal aplanándolos y alargándolos.
c) Calibrado. Es una ligera operación de compresión de una pieza forjada, modelada o un montaje de acero para obtener tolerancias cerradas y superficies planas.
d) Formado o forja en frió. En esta operación el material fluye de alguna forma predeterminada, de acuerdo al diseño de los dados, por medio de una fuerza de compresión o de impacto.
e) Interformado. Es un proceso en el cual, el metal es comprimido a una presión alrededor de 400 Mpa. O menos sobre un dado o mandril, para producir una configuración interna.

f) Roscado, laminado, moleteado. Son operaciones mecánicas, las cuales son para darle cierra función a los metales que son predeterminados como acabado o conformación de ciertos metales.
g) Remacilado. Se usa para unir rápidamente partes, el proceso consiste en colocar un remache sólido a través de agujeros hechos en las partes que se van a unir y su extremo sufre un prensado de forma con punzón.
h) Estacado. Es una operación similar en la que el metal de una de las partes se recalca de tal manera que provoca un ensamble ajuntado contra la otra parte.

3.- ***Doblado angular.*** Es la tendencia final de doblez de algún metal que bien podrían ser placas metálicas u otros, con respecto de su estado original.
a) Doblado. Se refiere a un doblez simple a lo largo de un eje.
b) Rolado por formado. Operación que incluye tanto el laminado de forja como el de rodillo circular.
c) Doblado por placa. Es la operación de tendencia a doblarse considerablemente las placas metálicas por medio de una máquina dobladura de rodillos.
d) Rebordeado. Es el rebordeo de la pieza metálica que se trabaja en frío.
e) Engargolado. Es la operación que se usa en costuras longitudinales, las cuales se adaptan para juntas que no necesitan ser de una unión perfecta.

4.- ***Cizallado.*** Es una operación de corte de láminas metálicas sin arrancar virutas. El proceso se caracteriza para un material sólido, con formación.
a) Troquelado. Es una operación que trabaja con piezas pequeñas, donde se requieren detalles y acabados muy exactos en la superficie.
b) Punzonado. Este proceso permite hacer un hueco de cualquier forma.
c) Corte. Es la operación de cortar una forma plana a partir de una tira de lámina en la que el material que deja el corte es el que se utiliza.
d) Recorte. Es una operación de corte, con el mismo principio que el punzonado.
e) Perforado. Es un proceso para cortar un agujero conformado en una lámina o placa metálica.
f) Escopleado. Es un proceso en el cual incluye un conjunto de escopleadoras o cortes de metales hechos a escoplo.
g) Ranurado. Es un proceso de corte, en el que los rollos de lámina metálica se cortan a anchos menores.
h) Lancetado. Este consiste en que se hace un corte parcial a través de una cinta.
y) Cepillado. Es una operación que permite obtener superficies planas horizontales, verticales o incluidas demasiado extensas para ser obtenidas por laminado.

5.- ***Alta relación de energía.***
a) Explosión. Es una operación que se emplea para producción de partes metálicas, recubrimientos, juntas y conformación de partes de metal pulverizado; dado que la presión del gas y la razón de detonación pueden controlarse cuidadosamente.
b) Electrohidrahidrahulica. Consiste en realizar un arco eléctrico formado a lo largo de un puente de alambre sumergido en un líquido que proporciona la alta energía necesaria para deformar al metal.
c) Magnética. Consiste en formar un campo magnético que hace las veces de gas comprimido para deformar el metal.

6.- ***Embutido.*** Es un proceso para hacer formas contorneadas o recipientes en donde una sola pieza forma los dados y el fondo.

7.-***Extruido.*** Sirve para producir tramos largos de diferentes formas.
a) En frió. Sirve para producir tramos largos de diversas formas, como varillas, tubos u vigas estructurales.

b) Por impacto. Se emplea para hacer productos como tubos colapsables (pasta de dientes) y latas para refrescos a partir de metales blandos como el aluminio.

8.- ***Granallado.*** Es una operación la cual emplea un abrasivo, normalmente arena o limaduras de acero o granalla, que se proyecta contra la superficie a limpiar o granallar.

Las ventajas y desventajas de comprimir y trabajar en frío es:
Ventajas

- Se mejora el terminado superficial
- Pueden mantener tolerancias dimensionales cerradas
- Elevada precisión en las dimensiones
- Elevada precisión geométrica
- La resistencia y dureza del material se aumenta

Desventajas

- Solo son posibles pequeñas por ser muy elevadas las fuerzas
- Los dispositivos de matriz o dado deben ser rectificados con frecuencia para mantener el acabado
- Se utiliza para procesos de acabado únicamente
- Devén ejercer fuerzas relativamente grandes
- Los esfuerzos son dejados en el material y permanecen en ellos hasta eliminarlos con un tratamiento térmico previo
- Se crea una distorsión o fragmentación de la estructura de grano
- Perdida de la ductilidad la temperatura de recristalizacion aumenta lo cual dificulta un tratamiento térmico

En los procesos que a continuación se presentarán se usan ciertas abreviaturas como son:

Proceso básico.
M, mecánico.
T, térmico.
Q, químico.

Energía.
Me, mecánica.
El, eléctrica.
Ter, térmica.
Qui, química.

Medios de transferencia.
Ri, rígidos.
Elas, elásticos.
Pl, Plásticos.
Ga, gaseosos.
Gr, granulares.
Fl, fluidos.

Principio de creación de superficie.
CT, conformación total.
CU, conformación unidimensional.
CB, conformación bidimensional.
CL, conformación libre.

Estado de esfuerzo.
Te, tensión.
Co, compresión.
Ci, cizallamiento.
Do, doblado.

La descripción de los procesos incluye:
Nombre, código de clasificación.
Descripción general.
Aplicaciones/geometría.
Requerimientos de material.
Tolerancias/superficies.
Maquinaría/energía.

Laminación

El proceso de laminación es pasar y comprimir el metal por medio de 2 rodillos. Los cristales se alargan en la dirección del laminado y el material emerge a una velocidad más rápida que la de entrada.

Este proceso se utiliza para la producción de tiras, barras, placas y secciones

Trenes de rodillos:

Un tren de rodillos por lo general se denomina según el número y arreglo de sus rodillos

Laminado en 2 rodillos (dúo reversible)

El metal pasa entre los 2 rodillos de un lado hacia el otro, se reduce el espacio entre los rodillos y se invierte su dirección de giro; y de nuevo pasa el metal entre los rodillos en movimiento. Se repite este ciclo hasta que el metal haya adquirido el grueso requerido

Laminador de 3 rodillos para laminado en vaivén (tres rodillos de altura o laminador trío)

En éste caso los rodillos giran continuamente en la dirección indicada. Las bancadas suben y bajan; para hacer pasar el metal en primer lugar entre los rodillos bajos y a continuación entre los rodillos altos. El ciclo se repite hasta que el metal haya adquirido un grueso requerido

Laminador de 4 rodillos para láminas anchas con rodillos de respaldo (cuatro rodillos de altura o laminador cuarto.

De igual manera el sistema Sendozimir se cuenta con rodillos adicionales que respaldan o apoyan los rodillos de trabajo permitiendoles aplicar una presión mayor al metal que está siendo laminado sin que se produzcan desvíos. Estos laminadores operan de la misma forma que el laminador dúo reversible y se utiliza ampliamente para obtener tiras acabadas en frío brillantes

La mayoría de los laminados primarios se hacen ya sea en un laminado reversible de 2 rodillos o en un laminador de rolado continuo de 3 rodillos

Tipos de rodillos:

Existen rodillos cilíndricos y rodillos ranurados para generar secciones planas y para barras y perfiles respectivamente

El diseño de los rodillos involucra dimensionamiento y propiedades de los rodillos y deben seleccionarse para condiciones óptimas de: Dureza, resistencia al desgaste, fortaleza, rigidez y resistencia al impacto.

El material de los rodillos la mayoría de las veces son de: Hierro colado, hierro nodular, aceros aleados y otros ya que estos son de gran resistencia y no tienen afinidad con el material de trabajo.

Laminados en caliente:

Esto se lleva a cabo a temperatura mayor que la recristalización

Una tendencia creciente es producir lozas, lupias o placas en forma directa por colado continuo para luego pasar al rolado (laminado) para la generación de placas, perfiles, rieles, redondos, alambres, barras, etc.

Ventajas y desventajas del laminado en caliente:

V*entajas*

- Las discontinuidades del lingote quedan soldadas a presión, resultando un material homogéneo.
- Con cada paso entre los rodillos se logran grandes reducciones en tamaño, por ser relativamente plástico el metal caliente.

Desventajas

- Precisión en las dimensiones relativamente.
- Precisión geométrica relativamente baja.
- Ausencia de derechura.
- Mal acabado o muy escamoso.

Burda estructura granular; debido al enfriamiento lento a partir de temperaturas elevadas.

Laminados en frío:

Esto se lleva acabo a temperatura por debajo de la crítica. Las barras de todos los perfiles, varillas, láminas y cintas comúnmente se acaban en todos los metales y usuales por laminado en frío.

Los metales se laminan en frío para mejorar las propiedades físicas, buen acabado de superficie, superficies con texturas, control dimensional y facilidad de maquinado. El rolado en frío es un medio práctico de producir un grado de dureza deseado en el material.

El laminado en frío proporciona al metal una clara orientación granular en dirección de la operación del laminado.

Ventajas y desventajas de laminado en frío

Ventajas

- Elevada precisión en las dimensiones.
- Elevada precisión geométrica.

- Buen acabado superficial.
- Buenas cualidades para el mecanizado y fuerza en aumento debido al grano fino.
- El temple puede controlarse mediante el grado de endurecimiento de la pieza.

Desventajas

- Sólo son posibles pequeñas reducciones por ser muy elevadas las fuerzas del laminado.
- Los rodillos deben ser rectificados con frecuencia para mantener el acabado.
- Procesos de acabado únicamente.
- Más costoso en planta y en energía que en laminado en caliente.

Algunos procesos comunes de acabado son los siguientes:

1. - ***Planchado*****:** Consiste en convertir el lingote en planchas listas para ser laminadas en tiras, laminas y placas. Este proceso se realiza a una temperatura de 1300 ºC, forjándose las discontinuidades que existan en el lingote y dando homogeneidad a la plancha.

2. - ***Forjado en lingotes***: Este proceso es semejante al de planchado; salvo que el de lingote se lamina en tochos, listos para su laminado como barras y secciones. Para el laminado, tanto en planchas como en tochos se utilizan laminadores reversibles dúo y cuarto.

3. - ***Relaminado (laminado en tiras continuas):*** El relaminado de planchas para su conversión en tiras se lleva acabo habitualmente en un laminador continuo de tiras. La plancha se vuelve a calentar hasta 1300º C y se pasa atravéz de una rociadora de agua y de los rodillos para eliminar las incrustaciones que quedan en la superficie de la plancha después del procesado previo. A continuación sé lámina en bruto para hacerlo pasar finalmente al sistema Sendozimir para su acabado.

4. - ***Relaminado (secciones y barras):*** El relaminado de secciones y barras se lleva a cabo habitualmente en una laminadora dúo reversible provista de rodillos ranurados.

Acabados en el laminado:

El acabado que queda en la tira, lámina o barra después del proceso del laminado puede decir mucho al usuario acerca del proceso al que se ha sometido el material y del tipo de características que probablemente poseerá.

1. - ***Laminado en caliente:*** La superficie del metal aparecerá burda y cubierta con escamas cuyo color irá desde el azul gris al negro. El metal que ha sido laminado en caliente se encuentra virtualmente en situación de recocido y será muy dúctil con escasa orientación granular. Tiende a romperse durante el maquinado y deja un mal acabado.

2. - ***Laminado en caliente(baño ácido y aceitado):*** El metal habrá sido procesado mediante el laminado en caliente, y tendrá las características del punto anterior. Sin embargo las escamas habrán sido eliminadas mediante un baño ácido, y el metal habrá sido lavado a continuación para eliminar cualquier ácido residual. A continuación se le aceita para evitar su oxidación.

3. - ***Laminado en frío (recocido ligero):*** La placa laminada en caliente, después de pasar por el baño ácido y de ser aceitada, se vuelve a laminar para formar láminas y tiras en frío, utilizando rodillos muy pulimentados. Esto mejora en gran medida la precisión, la calidad de acabado y las propiedades mecánicas del metal, pero también aumenta el costo.

4. - ***Laminado en frío(recocido brillante):*** En lugar del recocido en paquetes, se recuece el metal laminado en un horno con atmósfera controlada, para que no haya pérdida de brillantez en la superficie del metal ya laminado. El laminado en frío endurece el metal mediante el endurecimiento en el trabajo y el temple o elasticidad y dureza del metal pueden ajustarse después del recocido brillante, pasando ligeramente al metal entre rodillos pulimentados, para obtener acabados a cuartos de dureza, ½ dureza, ¾ de dureza, etc.

Características de las operaciones de trabajo

Laminación
(M, Me, Ri, CU, Co)

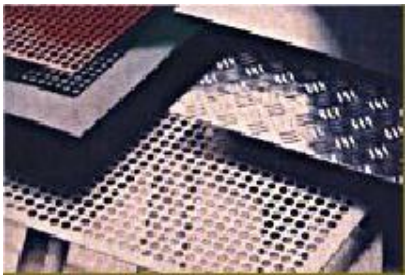
Descripción. El proceso de laminación se caracteriza por un material sólido, conformación unidimensional y un estado compresivo de esfuerzo. La pieza de trabajo(W) pasa entre dos rodillos (R) con una separación (h_2), la cual es menor que el espesor inicial del material h_2. Ya que la anchura del material casi se mantiene constante durante la deformación, la reducción del espesor da como resultado un incremento correspondiente de longitud debido a la constancia del volumen.

Aplicaciones y geometría. Cuando se desea producir en gran cantidad, es mejor el laminado en caliente. Los productos más comunes obtenidos son laminas, largueros placas, barras macizas, varillas, perfiles estructurales etc. Los productos que se tienen superficies lisas, dimensiones precisas y altas resistencias; se laminan en frío con reducciones variables, dependiendo del propósito.

Requerimientos de material. Los materiales deben poseer suficiente ductilidad a la temperatura de conformación.

Tolerancias y superficies. La laminación en caliente produce superficies ligeramente rugosas y tolerancias en los intervalos de 2 al 5 %, por lo que se le tiene que dar un conformado en frío posterior si es necesario. La laminación en frío produce superficies muy lisas y tolerancias en el intervalo de 0.5 al 1 %.

Maquinaría y energía. Se necesita equipo y maquinaría muy pesada, diseño especial ya sea para laminación en caliente o en frío.



Extrusión
(M, Me, Ri, CU, Co)

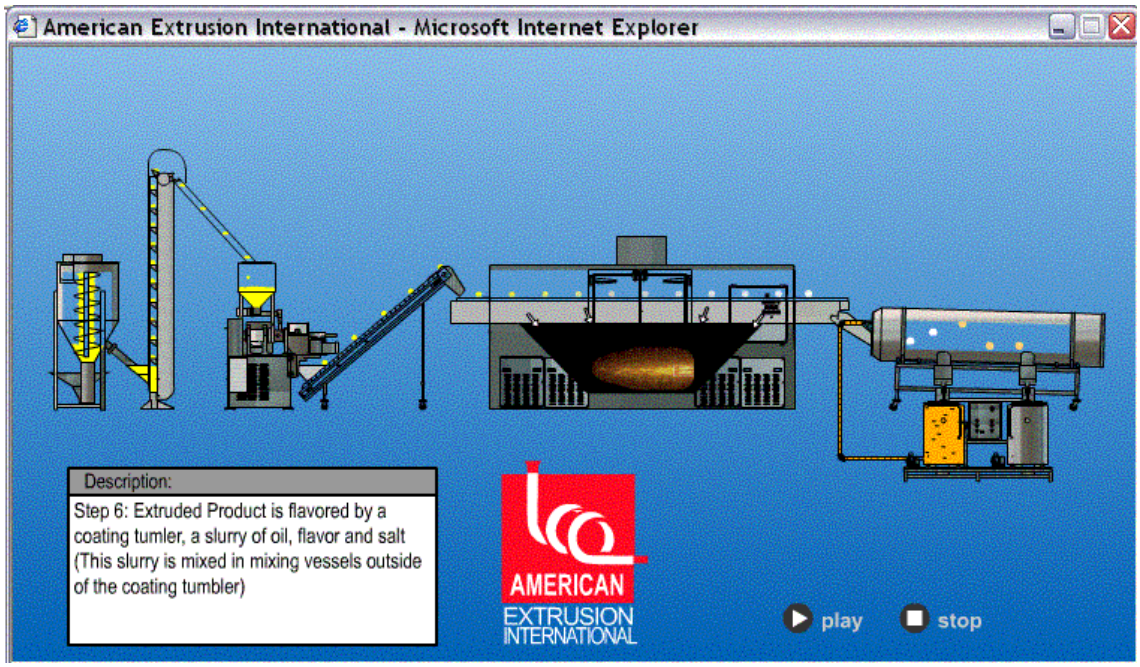
Descripción. El proceso de extrusión se caracteriza, en general, por un material sólido, conformación unidireccional y un estado compresivo de esfuerzo. La pieza de trabajo (W) es colocada en la matriz (L) y el punzón (P) hace pasar el material a presión a través del orificio de la matriz en dirección de la fuerza aplicada.

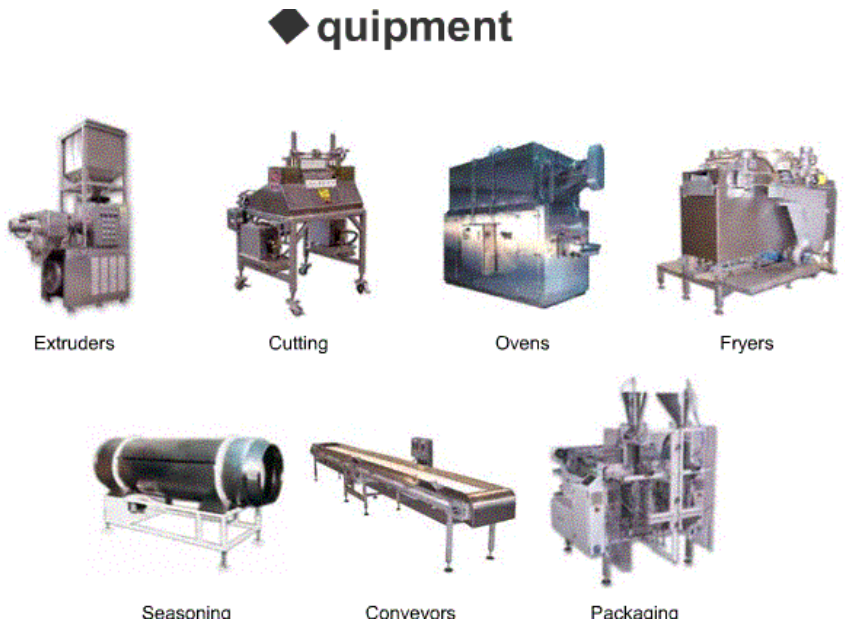
Aplicaciones. Como proceso de trabajado en caliente, la extrusión se usa usualmente para producir una amplia variedad de perfiles estructurales regulares e irregulares tales como molduras de ventanas, ángulos, vigas en I y en U y tubería circular o de otra sección transversal. Como proceso de trabajo en frío, es una variante de la forja en frío usada o combinada con cabeceado en frío, extrusión, o con otros procesos.

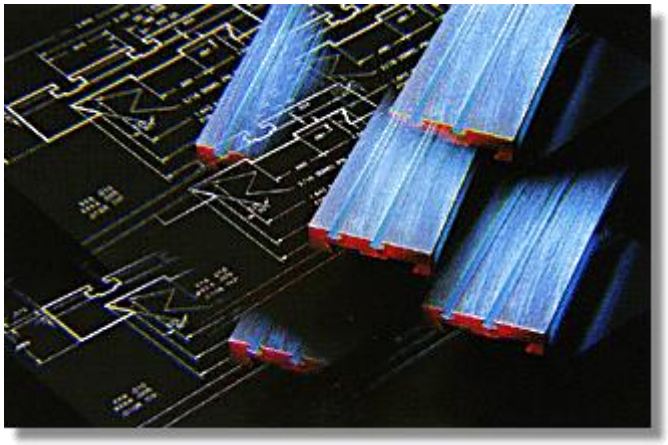
Requerimientos de material. En el trabajo en caliente, los materiales ferrosos y no ferrosos deben poseer suficiente ductilidad a altas temperaturas. En el trabajo en frío se usan metales no ferrosos y aceros de baja aleación, los cuales poseen suficiente ductilidad a temperatura ambiente.

Tolerancias y superficies. La extrusión en caliente da buenas tolerancias y superficies y es la mejor para metales no ferrosos. La extrución en frío da excelentes tolerancias (0.1-1%) y superficies.

Maquinaría y energía. Para la extrusión en caliente se usan prensas hidráulicas especiales; la extrusión en frío se lleva a cabo en prensas hidráulicas y mecánicas de uso general




quipment
Extruders
Cutting
Ovens
Fryers
Seasoning
Conveyors
Packaging



Estirado
(M, Me, Ri, CU, Te)

Descripción. El proceso de estirado en caliente se caracteriza, en general, por un material sólido, conformación unidimensional y un estado traccional de esfuerzo. La pieza de trabajo (W) se coloca en una matriz (L) y el punzón (P)empuja al metal a través de la matriz, formando una copa. La copa puede ser prolongada a través de varias matrices con un solo punzón.

Aplicaciones. El proceso de estirado en caliente se usa generalmente para producir partes cilíndricas de paredes relativamente gruesas, tales como tanques de oxígeno, proyectiles de artillería, torretas de tanques y tubos cortos.

Requerimientos de material. Alta ductilidad (baja resistencia a la cedencia) a elevada temperatura. Tanto los metales ferrosos como los no ferrosos son estirados en caliente.

Tolerancias y superficies. En general se obtienen tolerancias razonablemente buenas frecuentemente menos de 0.5% del diámetro. La calidad de las superficies es buena.

Maquinaría y energía. Existen prensas hidráulicas (bancos de estirar) para estiramiento único o múltiple.

Forjado
(M, Me, Ri, CT, Co)

Descripción. El proceso de forja sé caracteriza, en general, por un material de trabajo sólido, conformación total y un estado compresivo de esfuerzo. La pieza de trabajo(W) se coloca en el semimolde inferior (L) y durante el movimiento de cierre del semimolde superior (U) la pieza de trabajo se vuelve plástica y llena la cavidad del molde. El material excedente es expulsado entre las caras del molde (periféricamente) como rebaba(F. La pieza de trabajo es desmoldada eventualmente por un expulsor (E) y la rababa se recorta en un troquel especial.

Aplicaciones. Producción de una amplia variedad de partes de forma variada, limitada únicamente por los requerimientos del proceso o del molde (diseños, radios, juntas, rebordes, etc.) y por las fuerzas necesarias. El proceso es en general, un proceso de trabajo en caliente y el flujo de metal puede controlarse mediante la geometría original de la pieza de trabajo y las cavidades del molde, dando por resultado una estructura fibrosa favorable. Los ejemplos incluyen bielas, engranes en bruto, palancas y manijas.
***Requerimientos del material*.** Todos los metales con una alta ductilidad a las elevadas temperaturas reales varias aleaciones de acero, metales no ferrosos, etc.

***Tolerancias y superficies*.** Los componentes de alrededor de un 1Kg de masa dan tolerancias de espesor en el intervalo de +0.6 a +0.2mm. La calidad de las superficies es razonablemente buena, pero en general se necesita procesamiento adicional (torneado, fresado, etc.) para obtener una de las superficies finales.

***Maquinaría y energía*.** La energía necesaria es mecánica y existen muchas maquinas diferentes (martillos de vapor, martillos de tabla, prensas hidráulicas y mecánicas, etc.) La selección de la maquinaría debe basarse en el volumen de producción y en el proceso real.

Embutido
(M, Me, Ri, CU, Te)

Descripción. El proceso de embutición se caracteriza por un material sólido, conformación unidimensional y un estado traccional de esfuerzo. La pieza de trabajo (pieza en bruto W) se coloca en la matriz (L), sujetada por la placa de presión (C)para evitar que se pliegue y es empujado través de la matriz por el punzón (P) para formar una copa profunda.

Aplicaciones. El proceso de embutición y sus variantes se usan extensamente para producir una amplia variedad de blindajes o carcasas, piezas cilíndricas o prismáticas, etc. Los ejemplos incluyen tapones de botella, paneles de automóvil, tanques, cubiertas y cajas de aparatos y latas para alimentos. La embutición es un proceso de trabajo en frío.

Requerimientos de material. Metales ferrosos y no ferrosos con suficiente ductilidad para soportar las deformaciones reales o sea, metales con anisotropía y altas deformaciones por inestabilidad. Si las deformaciones son grandes podría necesitarse un recocido intermedio.

Tolerancias y superficies**.** En general se pueden obtener buenas tolerancias ± 0.2 mm para diámetros pequeños y mayores conforme aumentan los diámetros. La calidad de las superficies corresponde exactamente a la de la chapa original.

Maquinaría y energía**.** Se usan extensamente prensas hidráulicas de doble acción, pero también de otros tipos mecánicos dependiendo del propósito.

Conformación con hule
(M, Me, Elas, CT, Do/Co.)

***Descripción*.** El proceso de conformación con hule se caracteriza por una materia sólido, conformación total y un estado de esfuerzo que incluye flexión y compresión adicional. La pieza de trabajo (W) se coloca sobre una matriz rígida (L) y el punzón (P) con una almohadilla de hule(R)se desplaza hacia abajo dando la forma de acuerdo con la forma de la matriz.

***Aplicaciones*.** El proceso de conformación de hule se usa para producir geometría relativamente sencillas en láminas delgadas de aluminio hasta de 3mm de acero inoxidable y de acero dulce hasta 1.5mm de espesor. Se puede usar el mismo punzón para varias matrices geometría. El herramental es de bajo costo, lo que permite una fabricación fácil y flexible. Los ejemplos incluyen latas para alimentos y partes para la industria electrónica. El proceso de conformación con hule puede incluir perforación y troquelado.

***Requerimientos del material*.** Alta ductilidad y una resistencia a la cedencia relativamente baja. Los materiales típicos son los metales no ferrosos, el acero dulce y los aceros inoxidables.

***Tolerancias y superficies*.** Las tolerancias varían con el grado de deformación y recuperación elástica. Las superficies son iguales a la lámina original, las superficies pintadas no se estropean.

Maquinaría y energía. Se puede usar la mayoría de tipos de prensas hidráulica y mecánica.

Abocardado de tubos
(Pandeo, M, Me, Elast/Ri, CT, Te)

Descripción. El abocardado de tubos se caracteriza, por un material sólido, conformación total y un estado traccional de esfuerzos. La pieza de trabajo (W) se coloca en una matriz (L) y se transmite energía mecánica a la pieza de trabajo introduciendo alta presión en un medio M (Fl, Elast). La alta presión se puede obtener de explosivos de alto poder detonados en agua o de un pistón de prensa(P).

Aplicaciones. El proceso de abocardado de tubos o pandeo se usa para producir una amplia variedad de componentes tubulares o cilindros ensanchados por secciones o de forma irregular para las industrias aeronáutica, química y mecánica.

Requerimientos de material. Deformación por inestabilidad suficientemente alta para resistir a la deformación sin fractura.

Tolerancias y superficies. Se pueden obtener tolerancias muy finas dependiendo de las dimensiones ± 0.05% de diámetro. La calidad de las superficies esta determinada principalmente por el material original.

Maquinaría y energía. Prensas hidráulicas y mecánicas, explosivos de alto poder, descargas eléctricas, etc.

Repujado
(M, Me, Ri, CT, Ci)

Descripción. El repujado se caracteriza por un material sólido, conformación total y un estado cortante de esfuerzo. La pieza de trabajo(W) se coloca en una matriz o mandril giratorio (L) y el rodillo móvil(R) progresivamente empuja a la pieza en contra.

Aplicaciones. Tanto el repujado convencional sin reducción significativa del espesor como el repujado por deslizamiento con reducción del espesor según el ángulo agudo del mandril se usan extensamente en la industria, solos o combinados, para producir cubetas, lamparas, reflectores, utensilios de cocina, campanas, tubos incluyendo diámetros variados y arboles (para turbinas de gas, etc.).

Requerimientos de material. Suficiente ductilidad para resistir las deformaciones sin fractura.

Tolerancias y superficies. Las tolerancias son buenas, por ejemplo 0.1-0.2% del diámetro. La calidad de las superficies depende de los parámetros del proceso(avance, geometría de los rodillos, velocidad, etc.

Maquinaría y energía. Existe una gran variedad de tornos de repujar manuales o controlados numéricamente.

Doblado
(Plegado, M, Me, Ri, CT, Do)

Descripción. El proceso de plegado se lleva a cabo en prensas plegadoras, se caracteriza por un material sólido, conformación total y un estado flexor de esfuerzos. La pieza de trabajo (Pieza en bruto W) se coloca en la matriz (L) y el punzón (P) baja y dobla la chapa de acuerdo con la geometría de la matriz y el punzón.

Aplicaciones. El doblado en prensa se usa para producir muchos perfiles estructurales (ángulos, canales etc.) Se usan extensamente en la industria aeronáutica, en la automotriz y en la industria eléctrica y mecánicas más ligeras. Una amplia variedad de matrices proporciona un número casi ilimitado de posibilidades geométricas. En los talleres pequeños se usan dobladoras manuales para efectuar el doblado, pero las posibilidades geométricas son mucho menores.

Requerimientos del material. La deformación en el punto de fractura no debe de excederse en el lado exterior del doblez.

Tolerancias y superficies. Las tolerancias dependen del espesor de la chapa y de la geometría del doblado. Las tolerancias angulares de ±0.5 %son comunes. La calidad de las superficies corresponde al de la chapa.

Maquinaría y energía. Existen prensas plegadoras de diferentes tipos y tamaños, tanto mecánicas como hidráulicas.

Estirado de lámina
(M, Me, Ri, CT, Te)

Descripción. El proceso de estirado de lámina se caracteriza por un material sólido(chapa), conformación total y estado transicional de esfuerzos. La pieza de trabajo(W) se sujeta con mordazas (G) y es estirada y doblada sobre una matriz (L) hasta que alcanza su forma final.

Aplicaciones. La conformación por estirado de chapa metálica es un proceso relativamente nuevo, utilizado extensamente en la industria aeronáutica y automotriz para producir grandes paneles de curvaturas variadas para interiores y exteriores, cubiertas de motor, marcos de puertas, ventanas y otros productos.

Requerimientos de material. El proceso esta limitado por la deformación en inestabilidad los materiales pueden evaluarse por su alargamiento uniforme en las pruebas de tracción. Tanto los metales ferrosos como los no ferrosos se conforman por estirado.

Tolerancias y superficies. La calidad de las superficies corresponde aproximadamente a la chapa original, pero las tolerancias varían con el nivel de esfuerzo recuperación elástica, la geometría y el material.

Maquinaría y energía. Existe una amplia variedad de maquinas de conformación por estirado en tipos y capacidades.

Doblado con rodillos
(M, Me, Ri, CU, Do)

Descripción. El proceso de doblado con rodillos se caracteriza por un material sólido, conformación unidimensional y un estado flexor de esfuerzo. La pieza de trabajo(W) se introduce dentro de un rodillo superior ajustable(R) y dos rodillos interiores fijos (R), lo cual induce un estado flexor de esfuerzos en la placa, que depende de la posición del rodillo ajustable en relación con los rodillos fijos.

Aplicaciones. El proceso de doblado con rodillos se usa para producir anillos, recipientes, etc. Cambiando la posición del rodillo superior, se cambia la curvatura de la placa. Las máquinas de doblado con rodillos se pueden controlar numéricamente (CNC), lo que permite producir fácilmente formas regulares e irregulares.

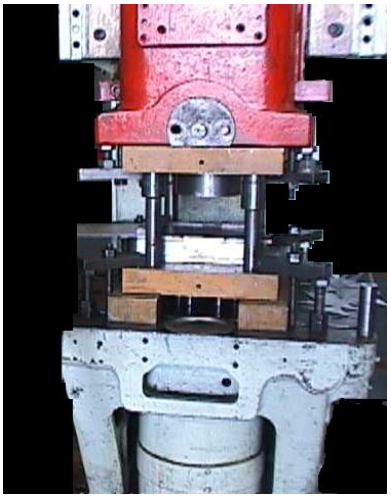
Requerimientos de material. Suficiente ductilidad, de tal manera que la deformación no exceda el punto de fractura en el reverso de la placa doblada. Tanto los metales ferrosos como los no ferrosos se pueden conformar con esta proceso.

Tolerancias y superficies. La mayoría de tolerancias se sitúan dentro del intervalo de 0.1-0.2% del diámetro. La calidad de la superficie es igual a la superficie de la placa o chapa original.

Maquinaría y energía. Existen dobladoras de rodillos en una amplia variedad de tamaños para doblado de placas de hasta 150-200 mm de espesor.

I. FORJADO.

Proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos dados, usando impacto o presión gradual para formar la parte.



Por medio del forjado se elabora una variedad de componentes de alta resistencia para automóviles, vehículos aeroespaciales y otras aplicaciones. Estos componentes incluyen flechas y barras de conexión para motores de combustión interna, engranes, componentes estructurales para aviación y partes para turbinas y motores a propulsión. Fijar la forma básica de grandes componentes que luego se maquinan para lograr su forma final y dimensiones definitivas.

El forjado puede realizarse por arriba y por debajo de la temperatura de recristalización, ofreciendo ventajas la forja en frío ya que el material resulta endurecido por deformación. Por la

forma del dado se denomina a) forjado en dado abierto, b) forjado en dado impresor y c) forjado sin rebabas.

En el primero de los casos las piezas producidas son simples y genera formas rudimentarias que requieren operaciones posteriores.

El forjado con dado impresor o de dado cerrado requiere con frecuencia de varios pasos de formado, no tiene tolerancias estrechas de trabajo y frecuentemente requiere de maquinado para lograr la precisión necesaria.

El forjado sin rebaba impone ciertos requerimientos sobre el control del proceso, las fuerzas alcanzan valores comparables con el proceso anterior. Se usa también para dar acabados superficiales y de precisión dimensional a algunas partes fabricadas por otras operaciones.
Para realizar las operaciones de forja se requiere de dados de forjado, martinetes y prensas. Los martinetes de forja se usan más frecuentemente para forjado con dado impresor, la parte superior del dado se fija en el pistón y la parte inferior en el yunque.

Las prensas de forjado aplican una presión gradual, en lugar de impactos e incluyen prensas mecánicas, hidráulicas y de tornillo. Las prensas mecánicas alcanzan presiones muy elevadas en el fondo del recorrido del forjado. Las prensa hidráulicas usan un cilindro hidráulico para accionar el pistón. Las prensas de tornillo aplican la fuerza por medio de un tornillo que mueve al pisón vertical. Además de estos métodos de forja existen otros de los que se mencionan:

Estampado (suajeado) con forja y forjado radial, el cual se usa para reducir el diámetro de un tubo o barra sólida. El forjado radial tiene como diferencia con relación al estampado que la pieza de trabajo es la que gira al avanzar dentro de los dados martillo.

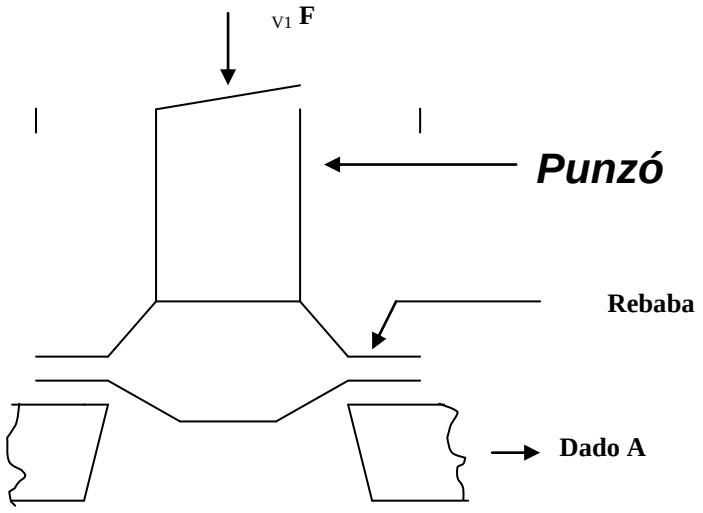
Forjado con rodillos. El forjado con rodillos es un proceso de deformación que se usa para reducir la sección que se usa para reducir la sección transversal de una pieza de trabajo cilíndrica o rectangular, ésta pasa a través de una serie de rodillos opuestos con canales que igualan la forma requerida por la parte final. Las partes forjadas con rodillos son generalmente más fuertes y poseen una estructura granular favorable.

Forjado orbital. En este proceso, la deformación ocurre por medio de un dado superior en forma de cono que presiona y gira simultáneamente sobre la parte de trabajo.

El punzonado en forja es un proceso de deformación en el cual se prensa una forma endurecida de acero sobre un bloque de acero blando u otro metal suave. El proceso se usa frecuentemente para hacer cavidades de moldes para moldeo de plástico y fundición

Forjado isotérmico en dado caliente.. Este método es más costoso que el anterior y se reserva para metales difíciles de forjar , como el titanio , las superaleaciones y para partes complejas.

El recortado es una operación que se usa para remover la rebaba de la parte de trabajo en el forjado con el dado impresor.



MÉTODOS PARA LA FABRICACIÓN DE ENGRANES.

La mayoría de los engranes se conforman por el proceso de maquinado; la preescisión de la maquina donde se efectué el trabajo es esencial para obtener engranes que deban operar bajo condiciones de bajo nivel de ruido, bajo desgaste y alta velocidad. Los engranes que deben operar a bajas velocidades y que tienen que estar expuestos a la intemperie pueden fabricarse por fundición en arena, aunque estos engranes no son propios para transmitir potencia; los engranes obtenidos por fundición a presión o por fundición por revestimiento han demostrado un funcionamiento más satisfactorio, los materiales utilizados para fabricar engranes por medio de los tipos de fundición mencionados anteriormente son metales de bajo punto de fusión y las aleaciones consecuentemente estos engranes no tienen la misma resistencia al desgaste que los engranes de acero tratado; el estampado aunque de razonable exactitud, solo se emplea para producir piezas dentadas trabajando la lamina, los métodos de fabricación más comúnmente utilizados en la producción de engranes se enlistan a continuación.

A) FUNDICIÓN.

1. Fundición en arena.
2. Fundición a presión
3. Fundición por revestimiento.

b) Estampado

c) Maquinado

1. Tallado de forma.
   - 1.1. Con fresa modulo en una maquina fresadora.
   - 1.2. Con un cortador de brocha en la máquina brochadora
   - 1.3. Con un buril de forma en el cepillo

2. Método de tallado con herramienta guiada por plantilla
3. Método de tallado por generación
   - 3.1. Tallado por generación con fresa madre

3.2. Tallado por generación con herramienta piñón
3.3. Tallado por generación con herramienta cremallera
3.4. Cortador alterno simulando una cremallera.

d) Metalurgia de polvos.
e) Extrusión
f) Laminado
g) Rectificado
h) Moldeo de plásticos.

III. LA ECONOMÍA DE LA FORJA.

En los procesos de forja muchos factores deben ser considerados. Los costos de las herramientas y los dados varían desde moderados a altos, dependiendo de la complejidad del proceso. Sin embargo, como en cualquier otro sistema de manufactura, los costos deben distribuirse sobre las piezas producidas. De esta forma, aunque el costo del material ocupado en cada pieza, es constante, la preparación del proceso y el costo de las herramientas por unidad producida, decrece a medida que el número de piezas fabricadas aumenta. Esto se ilustra en la figura 1.

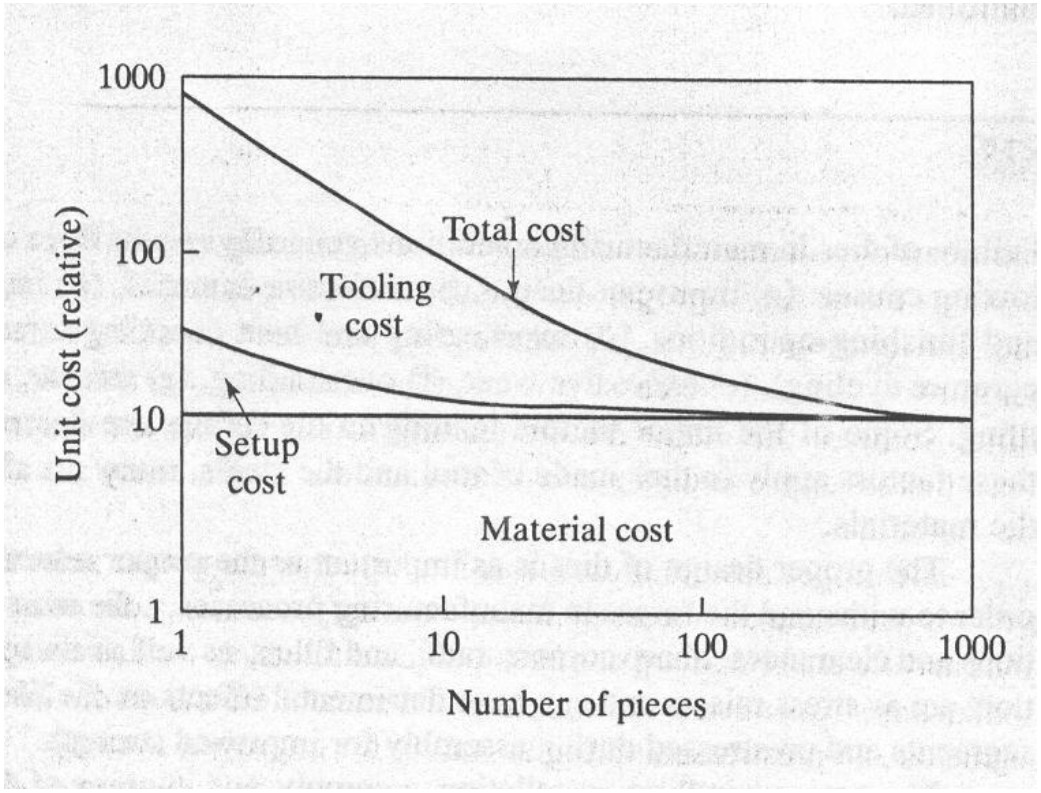


Figura 1. Costo de las piezas producidas por forja.

La razón entre el costo del material y el costo total de las piezas forjadas, se incrementa a medida que el peso, o cantidad de material, de la piezas forjadas se incrementa. Las operaciones de forjado deben ser realizadas sin importar el tamaño de las piezas, el costo de los dados y de las operaciones de forjado, en relación al costo del material es alto para piezas pequeñas e inversamente el costo de los materiales es relativamente pequeño.

A mediada que el tamaño de las piezas se incrementa, el costo de los materiales influye en el costo total del proceso, pero a razón menor. Esto ocurre debido a:

- El incremento del costo de los dados es relativamente menor.
- La maquinaria y las operaciones involucradas, son esencialmente las mismas, sin importar el tamaño de las piezas.

- La cantidad de trabajo que requiere cada pieza es prácticamente la misma.

El costo total de una operación de forjado, no es influenciado visiblemente por el tipo de material utilizado.

Los costos de las operaciones de forjado, generalmente son moderados; y están reduciéndose significativamente por a automatización y las operaciones controladas por computadora. El diseño y la manufactura de dados en la actualidad, se apoya en CAD y en técnicas de manufactura que ahorran tiempo y dinero en forma considerable.

El costo de una pieza forjada, comparado con otras técnicas de fabricación como: fundición, metalurgia de polvos, maquinado o por otros métodos, es un aspecto que se debe tener en cuenta en un mercado competitivo. Por ejemplo, si todos los otros factores son iguales, y dependiendo solo del número de piezas fabricadas, la manufactura de una cierta pieza, digamos por fundición en dados expandibles (expendable-mold casting), puede ser mas barata que una pieza producida por medio de forja. El método de fundición no requiere de dados y herramientas caras, mientras que la forja requiere dados muy costosos. Esto se ilustra en la siguiente figura 2.

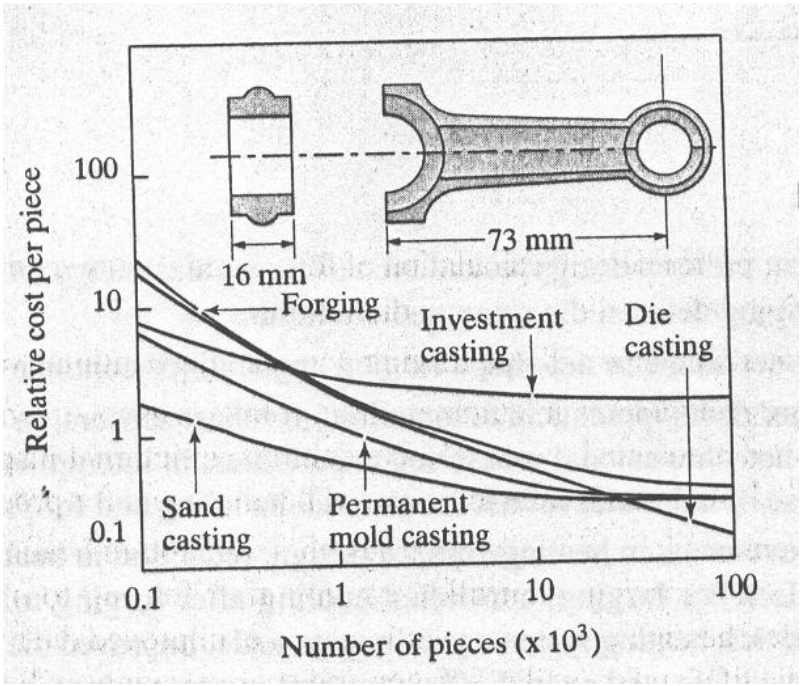


Figura 2. Costos relativos de diferentes tipos de manufactura.

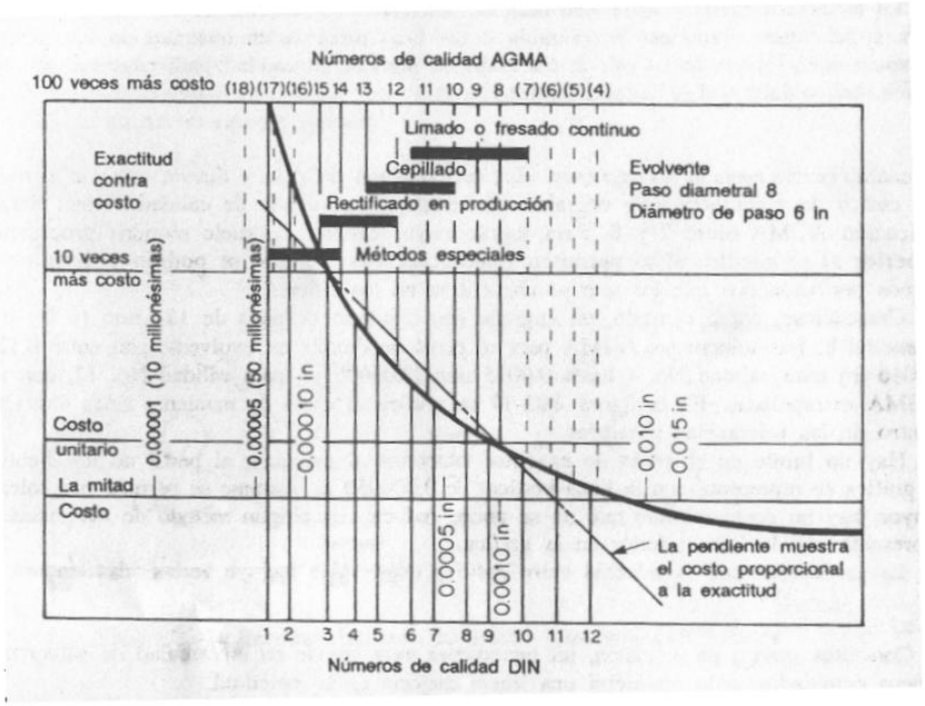
FACTORES DIMENSIONALES

Las variaciones dimensionales en los engranes producen ruido, vibración, problemas de funcionamiento, menor capacidad de carga y menos duración. Estos problemas se agravan a alta velocidad de funcionamiento. Las dimensiones críticas para el buen funcionamiento son peso, paso, concentricidad, perfil, espesor y acabado de superficie de los dientes. Dos índices en que se combina el efecto de varias de estas dimensiones son el error compuesto entre diente y diente (TTCE, del inglés tooth to tooth composite error) y el error compuesto total (TCE, del inglés total composite error). El primero es el efecto combinado de las variaciones en el paso, perfil y espesor de los dientes. El segundo es el efecto combinado de los errores entre diente y diente y además la excentricidad.

La American Gear Manufacturers Association (AGMA) ha incluido esos factores en un sistema muy completo para clasificar la exactitud. Los valores de exactitud dimensional se designan con números de calidad para engranes de diferente tamaño, paso dimensional y tipo.

Hay 14 clasificaciones de calidad. La calidad No. 3 se aplica a engranes comerciales de baja calidad; la calidad No. 16 es para engranes de máxima precisión. Todas las especificaciones aparecen en AGMA Standard 390.03, Gear classification Manual. En la norma alemana DIN 3962 se utiliza un sistema similar.

Exactitud contra costo de los engranes. Hay una relación definida y directa entre la exactitud y los costos de manufactura de engranes. Un engrane maquinado de calidad común tiene clasificación AGMA entre 7 y 8. Para lograr mayor calidad, se suele requerir procesamiento superior al promedio. Si se permiten tolerancias más amplias, se podrán utilizar métodos menos perfeccionados que los que se encuentran en los talleres.



Con sidérese como ejemplo, un engrane con diámetro de paso de 152 mm y paso diametral 8. Las tolerancias AGMA para el perfil de dientes en envolvente son entre 0.12 mm para calidad No. 4 y hasta 0.0015 mm para calidad No. 17, con curvas AGMA extrapoladas. En la figura anterior se gráfica el costo de mantener estas dimensiones dentro de las tolerancias señaladas.

Hay un límite en el grado de exactitud obtenible al maquinar el perfil de los dientes; en la gráfica se representa con la línea vertical de 0.000050 in. Aunque se permite una tolerancia mayor, hay un costo mínimo que no se puede reducir con ningún método de maquinado y se representa con la línea inferior de la gráfica.

La gráfica muestra la relación entre el costo y exactitud e incluye varias advertencias:

1. Con altos grados de precisión, un incremento muy grande en la cantidad de esfuerzo o de dinero empleados, sólo producirá una ligera mejoría en la exactitud.
2. Cuando se prefiere el ahorro a la exactitud, los ahorros adicionales como consecuencia del gran incremento en el error tolerable son muy pequeños.

El control de la exactitud para tener un número de calidad alto AGMA, requiere el control del medio y de las condiciones de manufactura, se requieren operaciones secundarias de maquinado como rectificado, cepillado, lapeado, etc.

FORJA DE PRECISIÓN.

Generalidades.

Fabricación de engranes por forja de precisión. [1]

Para la fabricación de engranes por este método se requiere una prensa para forjar, equipada con un juego de herramientas para forjar que tienen la figura idéntica a la del engrane a forjar y que producen exactamente su propia forma. El material en bruto para la fabricación de estos engranes, se suministra en preformas denominadas tochos cuyas dimensiones deben ser idénticas a las del engrane que se desea obtener. En cuanto la sección superior de la matriz entra en contacto con el material bruto la presión de la prensa lo fuerza hacia la sección inferior, forzándolo a ocupar las cavidades de los semimoldes.

La operación cuando se realiza en caliente presenta malas tolerancias y acabados superficiales, y cuando se realiza en frío se requiere de que el material tenga propiedades altas de ductilidad, aún así, la pieza corre el riesgo de presentar defectos de esfuerzos residuales y hasta agrietarse por la forma en que se fuerza el tocho para obtener el engrane. Lo recomendable es forjar el engrane en tibio, a temperaturas por debajo de la recristalización y superiores a la ambiente, la operación no afecta en mucho las tolerancias y acabados superficiales, y presenta facilidades de deformación por el aumento de su estado plástico. El material fluye con facilidad sobre paredes de la matriz y la acción de cizalleo produce cierta redondez y aspereza en las superficies, en la periferia y en los dientes, llamada contracción por estiramiento.

Los acabados superficiales dependen de la chapa de la matriz, algunas ocasiones los acabados son tan buenos que la operación seguida es un tratamiento térmico superficial para mejorar características de contacto. La cualidad de redondearse aumenta si aumenta el grueso de material bruto, no siendo recomendable para espesores que pasen de 1/16 in. Si se desean obtener engranes con menores contracciones y asperezas, se aplica una operación adicional que recibe el nombre de afinación(calibrado); cuya misión es exactamente lo que su nombre índica y que consiste en un paso adicional al forjado, con dados de tolerancia más estrecha, en donde el engrane es remaquinado para desvanecer un poco el estiramiento por compresión y las rugosidades que presente.

Se puede emplear una amplia gama de materiales, que incluye todos los aceros de bajo y medio carbono, todas las aleaciones de latón que ocasionalmente proporcionan el mejor acabado; aleaciones de aluminio de media y de completa dureza y materiales no metálicos. Cuando se emplean aceros de alto contenido de carbono e inoxidables, se requieren dados de forjado de materiales de construcción especiales y cada caso tendrá que estudiarse en la práctica.

FORJA DE ENGRANES [2].

La forja solo se utiliza para preformas de engranes, aunque la producción de ellos en años recientes han sido limitada. El proceso incluye pasos adicionales comparado con los procesos de forja comerciales más comunes, pues requiere maquinado preciso de la preforma forjada, así como forja de desbastado y acabado. El proceso es más aplicable a engranes cónicos rectos y de dientes laterales. Se pueden hacer engranes de dientes rectos laterales pero la duración de matrices es muy corta. Se han producido engranes cónicos espirales como experimento.
Los engranes forjados no son tan exactos como los maquinados, en condiciones controladas se pueden mantener tolerancias casi equivalentes a las logradas con maquinado para desbastar. Dichos engranes tiene mayor resistencia a la fatiga. Se necesita producción en gran volumen para amortizar los costos de herramientas y de creación de proceso.

COMPARACIÓN CON OTROS PROCESOS.

A continuación se presentan algunas ventajas y desventajas de comparación de fabricación de engranes por forja y fundición de engranes por inyección, considerando que este supera a los demás procesos de fundición.

Fabricación de engranes por forja de precisión.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Buenas dimensiones y tolerancias.	Requiere de equipo especial.
Buenos acabados superficiales.	Requiere de mantenimiento especial.
Mejora la resistencia.	Mayor densidad.
Elimina porosidades e impurezas.	Limitaciones en el peso y tamaño.
Trabaja cualquier metal.	Vida de matrices corta.
Producción rápida de gran cantidad de piezas.	No es recomendable para poca piezas.

Fabricación de engranes por inyección

Ventajas	Desventajas
Buenas dimensiones y tolerancias.	Requiere de equipo especial.
Buenos acabados superficiales.	Requiere de mantenimiento especial.
Mayor densidad.	Limitaciones en el peso y tamaño.
Mejora la resistencia.	Vida de matrices corta.
Elimina porosidades e impurezas.	Limitaciones en el metal a trabajar.
Producción rápida de gran cantidad de piezas.	No es recomendable para poca piezas.

Matrices para forja de precisión.

Predicción de la Carga de formación.

Para determinar la desviación elástica de la formación de los dientes, las tensiones que actúan en el dado durante los procesos de formando deben conocerse. Este análisis de tensión es necesario no sólo obtener la desviación elástica, sino también para calcular la presión formando y carga.

Extrusión.

El proceso de extrusión se ve esquemáticamente en Fig. 6. La carga del punzón requiere que se estruya el tocho formando el perfil helicoidal del engrane estimando las fuerzas siguientes:

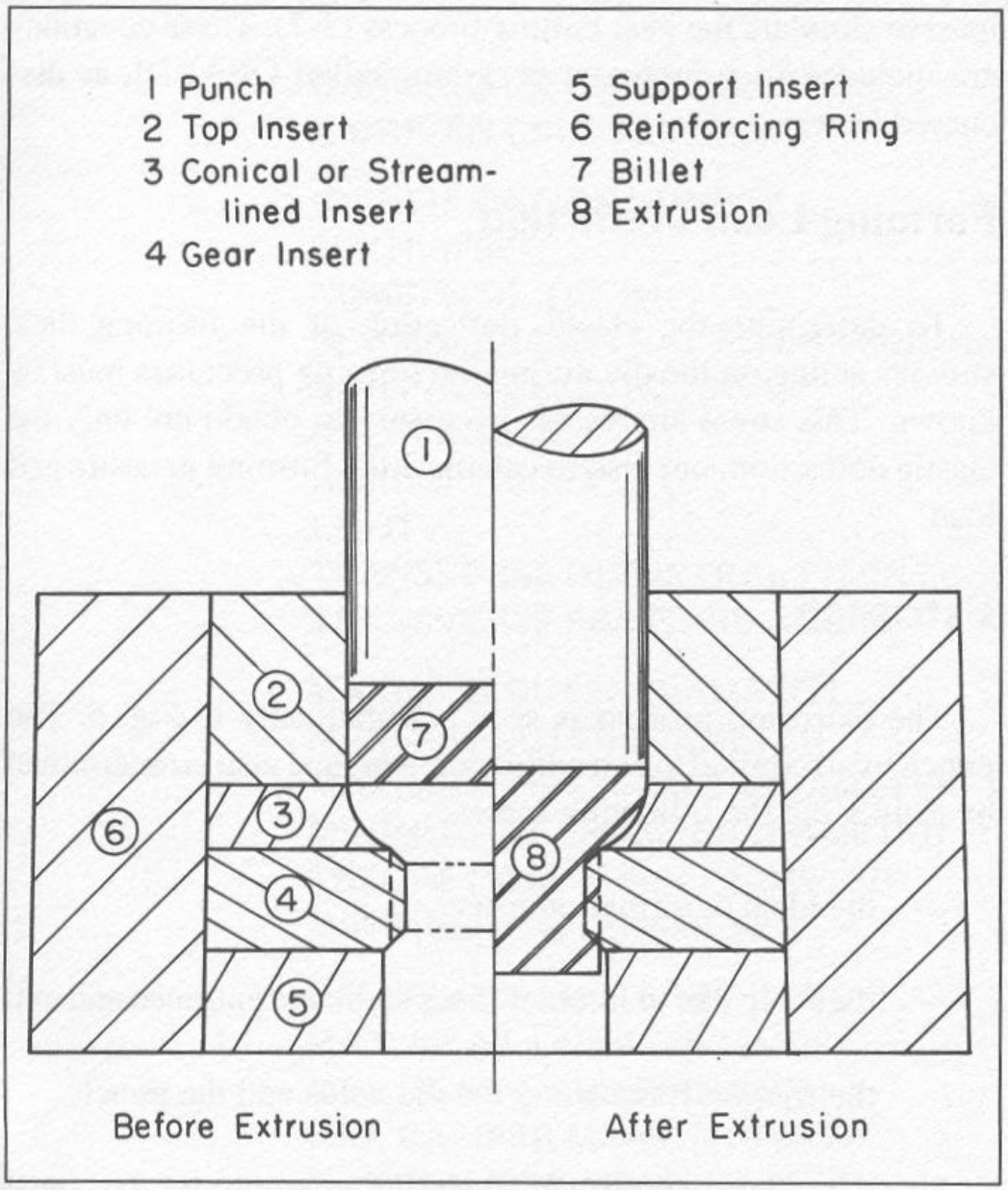


Figure 6 - Schematic of the extrusion process.

- la fuerza de la deformación ideal
- la fuerza debido al perfil interior esquila interior a la entrada del dado y salida
- la fuerza de fricción a lo largo de las paredes del dado y el ponche

Usando el método de la tabla de análisis, las ecuaciones para la fuerza del punzón se determinan y se programan.

Forjando

Un arreglo de la herramienta típica para forjar un engrane se muestra esquemáticamente en fig. 7. La fuerza del punzón necesaria para llenar la cavidad del diente mediante el flujo de metal radial se puede calcular mediante el método de la tabla de análisis y bien con ecuaciones empíricas. Adicionalmente la carga de forjando se puede estimar con el método del elemento finito (fem) este es un programa basado en verificar los cálculos hechos por el método de la tabla y las ecuaciones empíricas. Los resultados del análisis de fem pusieron en correlación estrechamente con el análisis empírico.

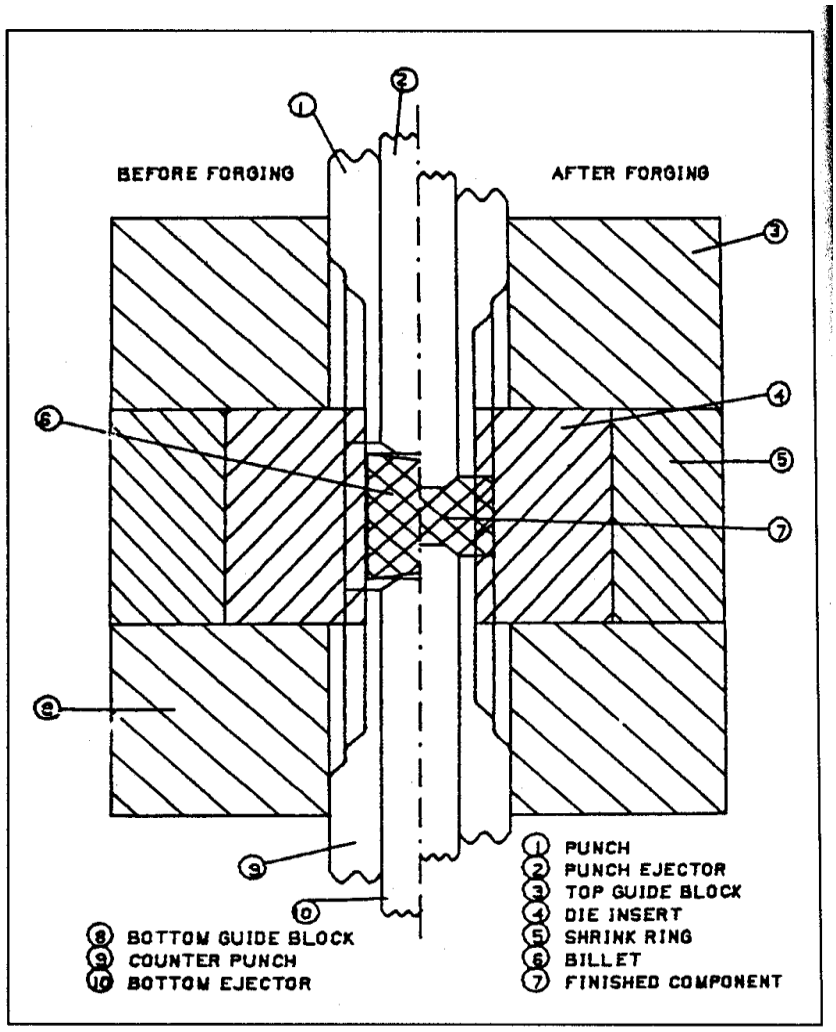


Figure 7 - Typical tool setup for forging spur or helical gears.

La estimación de Correcciones del Dado

La geometría del dado formando es diferente a la forma de los dientes porque:

- El inserto del dado es normalmente encajado en dentro de la ranura del dado que causa una reducción de las superficies del dado.

- El tornillo caliente formando, los troqueles pueden calentarse antes de la forja y pueden llevarse más allá, calentado mediante el billet caliente durante la forjar. Esto causa la inserción del dado para extender.

- Durante la forma, se generan esfuerzos, y la superficie de los dados sufren deformaciones elásticas.

- Después de la forma, el perfil del engrane se encoge durante el enfriamiento de la forja, con lo cual se generan zonas de temperatura.

Para obtener la exactitud deseable en los engranes forjados, cada uno de las variaciones geométricas listadas se estimarán y la geometría del dado será corregida. Refiriéndose a Fig. 8, el radio del diapasón original se representa por R. El perfil de corte del dado causa un perfil de corte en el engrane, el dado debe aumentarse por una cantidad correspondiente, S. Similarmente, las temperaturas del dado son aumentadas y las presiones de forja causan que el dado se extender. Estos dos factores se compensan por las cantidades H y E. Finalmente, un tornillo caliente de forja para engrane se encogerá durante el enfriamiento; por consiguiente, el dado debe agrandarse por la cantidad C. se usaron Los resultados de los análisis de corrección de dado para alterar las coordenadas del perfil de diente del engrane para lograr la geometría del dado apropiada.

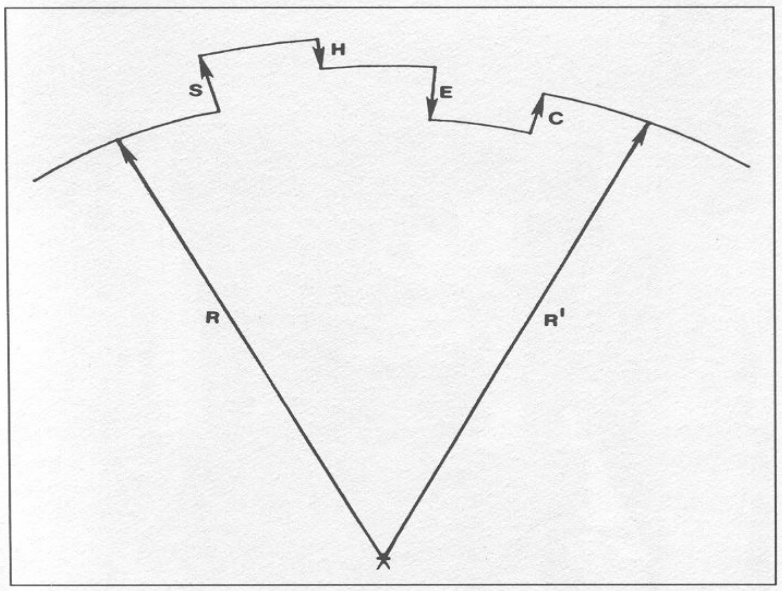


Figure 8 - Correction to gear geometry (symbols explained in text).

Corte del Dado

Un método común de fabricación del dado se llama el mecanizado de la descarga eléctrica (Electrical Discharge Machining). El proceso usa un electrodo, normalmente hecho de grafito o latón que son el negativo de la geometría del dado. El electrodo se trae cerca, pero no existe contacto con el material del dado. Una corriente eléctrica permite formar arco por cuál el material se aleja es decir se separa. Otro formulario de este método de fabricación se llama el alambre EDM. La corriente se pasa a través de un alambre recto que se encuentra entre las dos dimensiones, mientras se quema la geometría del dado. Los troqueles del engrane helicoidales deben ser hechos usando un electrodo sólido pero pueden cortarse los troqueles de los dientes del engrane usando un electrodo sólido o un alambre el proceso de EDM. En cualquier proceso, un juego corregido de coordenadas del perfil del diente del engrane serán necesita. Este nuevo juego de coordenadas se computa aplicando un factor de la corrección al vector del radio del centro del vestido a cada punto en el perfil de diente del engrane. El factor de la corrección es una función de los valores para S, H, E, y C como mostrado en Fig. 8.

Como previamente mencionó, la geometría del dado es diferente de la geometría del engrane final. Cuando se cortan los dientes del engrane con un electrodo, puede ser deseable fabricar el electrodo que usa perfil o forma de corte específicamente diseñado para cortar la geometría del electrodo. El programa de computación" GEARDI", permite al usuario diseñar esta nueva herramienta cortante.

FUNDICIÓN DE ENGRANES EN MOLDES DE ARENA VERDE.

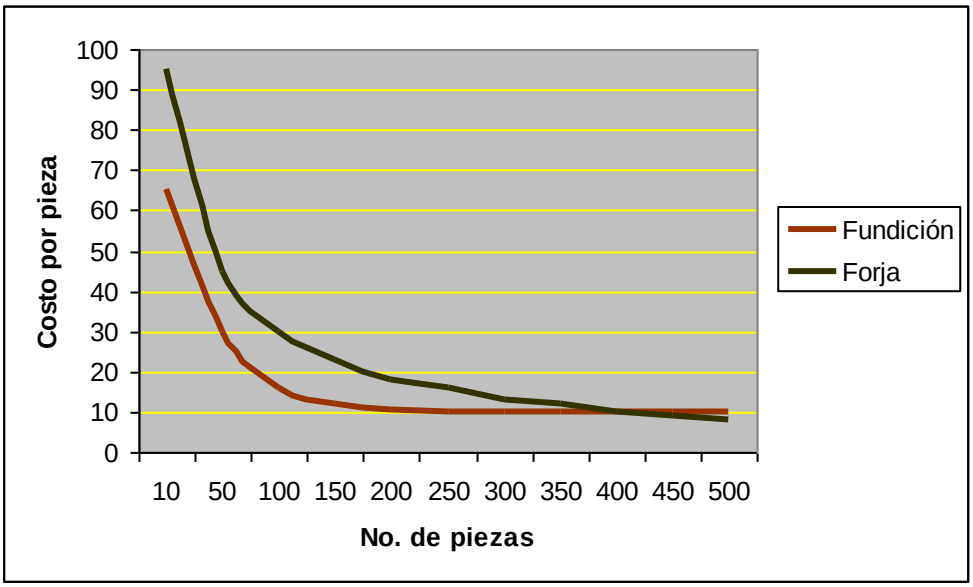
Fundición en Matrices.

La fundición en matrices es un proceso en el cual el metal líquido es forzado a entrar a presión en el molde metálico conocido como matriz. Por razón de que el metal solidifica bajo una presión desde 0.6 a 275 MPa, la pieza de fundición se configura a la cavidad de la matriz en igual forma y acabado superficial que ésta. La presión usual es de 10.3 a 14 MPa.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE FABRICACIÓN DE ENGRANES POR FORJA DE PRECISIÓN CONTRA FUNDICIÓN DE ARENA VERDE.

- La fundición en moldes de arena verde tiene propiedades específicas importantes en la ingeniería; estas propiedades pueden ser metalúrgicas, físicas o económicas.
- La fundición con frecuencia es más barata que las forjas dependiendo de la cantidad, el tipo de material y el costo de los modelos en comparación con el costo de los dados para forja.
- Como es el caso, hay elecciones lógicas para las partes y estructuras de ingeniería.
- Algunas de las características de interés especial que deben de tomarse en cuenta para que los colados se diseñen de manera adecuada son las siguientes:
- No tienen propiedades direccionales.
- No existe estructura laminada como sucede con la forja.
- La resistencia es la misma en todas las direcciones.
- La capacidad del metal fundido para fluir dentro de secciones estrechas de diseño complicado.
- El hierro colado tiene buenas características de amortiguación.

- Un gran inconveniente que se presenta es que se requiere que el moldeador tenga gran habilidad.
- La forja consiste en trabajar con el metal caliente con aplicaciones individuales e intermitentes de presión.
- El orden de habilidad requerido es cada vez más escaso, la automatización del proceso facilitan las operaciones.
- Es importante que la pieza de metal se caliente de manera uniforme por completo y a la temperatura apropiada para la forja.
- En la siguiente grafica se puede observar la comparación de costos de producción entre ambos métodos [Materials and manufacture process for engineers. Doyle/Keyser/otros].



BIBLIOGRAFÍA.

[1].- Darle W. Dudley “Manual de engranajes, diseño, manufactura y aplicación de engranajes”, CECSA.
[2].- James G. Bralla, “Manual de diseño de producto para manufactura”, Editorial Mc Graw Hill, 3 tomos.1996.
[3].- The Engineering Society for Advancing Mobility “Gear design, Manufacturing and Inspection Manual”, International.