



Universidad  
**itaca**   
*Ad excellentiam per conscientiam*

# PROCESOS INDUSTRIALES

Tutorial  
Sesión 8



M en C Rogelio Velasco Salazar

**NOMBRE DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE**

PROCESOS INDUSTRIALES

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

LII 216

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA:**

Al término del curso, el alumno analizará los problemas relativos a la producción de bienes, identificando su proceso de fabricación en distintas fases, hasta la obtención de un producto final.

**Sesión 8**

**5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA**

5.1. Procesos de conservación de masa

5.1.1. Características

5.1.2. Laminación

5.1.3. Extrusión

5.1.4. Trefilado

5.1.5. Embutición

5.1.6. Forja

**OBJETIVO:**

Al término de la sesión, el alumno conocerá los diferentes procesos de conservación de la masa que se aplican en piezas de acero

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

### 5.1 Procesos de conservación de masa

#### 5.1.1 Característica, principios y equipo<sup>1</sup>

En la conformación de metales, el proceso básico primario es la deformación plástica de tipo mecánico. La capacidad de un material para experimentar deformación plástica esta determinada primordialmente por su ductilidad (medida por la reducción de área en la prueba de tensión). La cantidad de deformación plástica necesaria para producir el componente deseado depende del principio que se elija para la creación de superficie y del incremento esperado en la información de forma. En otras palabras, la ductilidad de un material determina el principio de creación de superficie y el incremento de información obtenible sin fractura.

Las curvas de esfuerzo-deformación son la fuente de información mas importante al evaluar la idoneidad de un material para ser sometido a deformación plastica. La deformacion por inestabilidad, la elongación porcentual y la reducción de área son las características sobresalientes. En casi todos los procesos de conformación hay una buena correlación entre la reducción de área y la "confortabilidad" del material.

Las curvas de esfuerzo-deformacion también revelan los esfuerzos necesarios para producir la deformacion deseada. Los esfuerzos y deformaciones, así como las fuerzas, el trabajo y la energía resultantes tienen importancia en el diseño de herramientas o moldes y en la elección de maquinaria para el proceso.

#### *UBB DIMEC Materiales 1*

Como se menciona antes, las condiciones en que se realiza un proceso pueden influir en gran medida sobre, la "confortabilidad". Los parámetros importantes son el estado de tensión, la viscosidad de deformación y la temperatura. En cuanto al estado de tensión se puede afirmar que la conformación bajo esfuerzos de compresión generalmente es mas facil que bajo esfuerzos de tensión ya que se suprimen las tendencias hacia la inestabilidad y la fractura por tensiona. Mas aun una presión hidrostática como carga adicional incrementa la confortabilidad (ductilidad), por lo cual se utiliza en ciertos casos.

En la mayoría de procesos, el estado de tensión varia a lo largo de la zona de deformacion; por tanto, a veces puede ser difícil identificar el estado máximo de tensión.

La velocidad de deformacion también influye en la ductilidad de un metal. Una mayor velocidad de deformacion provoca una menor ductilidad y un incremento en los esfuerzos necesarios para producir cierta deformacion. Los procesos industriales más utilizados tienen lugar a temperatura ambiental; en consecuencia, la velocidad de deformacion no ocasiona problemas. Sin embargo en aquellos procesos que se efectúan a temperaturas elevadas se deben tomar en cuenta los efectos de la viscosidad de deformacion (véase la figura 5 del apunte "Propiedades de los metales de Ingeniería").

---

<sup>1</sup>Mkell P. Groover; Fundamentos de manufactura moderno materiales, procesos y sistemas; Editorial. A Simon y Shuster Company/ 2010

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

Las altas temperaturas pueden dar por resultado un material con un esfuerzo constante de cedencia, el cual es independiente de la deformación. En este estado el material puede soportar deformaciones muy grandes, ya que la temperatura es superior a la de cristalización, donde se producen continua y casi instantáneamente nuevos granos libres de deformación. Estos “procesos de trabajo en caliente” no causan problemas graves en la fase de deformación, cuando la velocidad de dicha deformación está controlada. Lo anterior es válido, para todos los metales, con algunas excepciones: por ejemplo el latón para cartuchos, que presenta tendencia a la fragilidad a temperaturas por arriba de la temperatura de recristalización.

Ejemplos típicos de procesos de conservación de masa. Laminación, Extrusión, Estirado en caliente, Forja, Extracción, Embutido, Conformación con hule, Abocardado, Repujado, Plegado, Conformación por estirado, Doblado con rodillos. Calculo de esfuerzos y energías. Laminación determinación de las fuerzas de laminación momento y potencia. Extrusión determinación de la presión. Trefilado determinación de la fuerza de estiramiento y reducción máxima de área en una pasada.

### 5.1.2 Laminación

La roladora puede hacer dobleces completamente circulares, también puede realizar aplanados y rolados.

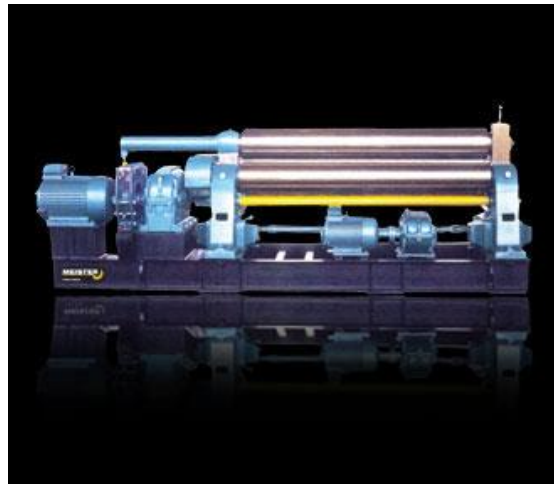
#### LAMINADO

Este es un proceso en el cual se reduce el espesor del material pasándolo entre un par de rodillos rotatorios. Los rodillos son generalmente cilíndricos y producen productos planos tales como laminas o cintas. También pueden estar ranurados o grabados sobre una superficie a fin de cambiar el perfil, así como estampar patrones en relieve. Este proceso de deformación puede llevarse a cabo, ya sea en caliente o en frío.

El trabajo en caliente es usado muy ampliamente porque es posible realizar un cambio en forma rápida y barata. El laminado en frío se lleva a cabo por razones especiales, tales como la producción de buenas superficies de acabado o propiedades mecánicas especiales. Se lamina más metal que el total tratado por todos los otros procesos. Ver fig.

1

Figura 1



## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

La mayoría de los laminados primarios se hacen ya sea en un laminador reversible de dos rodillos o en un laminador de rolado continuo de tres rodillos. En el laminador reversible de dos rodillos, Fig. 3A, la pieza pasa a través de los rodillos, los cuales son detenidos y regresados en reversa una y otra vez. A intervalos frecuentes el metal se hace girar 90° sobre su costado para conservar la sección uniforme y refinar el metal completamente. Se requieren alrededor de 30 pasadas para reducir un lingote grande a una lupia. Los rodillos superior e inferior están provistos de ranuras para alojar las diferentes reducciones de la sección transversal de la superficie. El laminador de dos rodillos es bastante versátil, dado que posee un amplio rango de ajustes según el tamaño de piezas y relación de reducción.

Esta limitado por la longitud que puede laminarse y por las fuerzas de inercia, las cuales deben ser superadas cada vez que se hace una inversión. Esto se elimina en el laminador de tres rodillos, Fig. 3C, pero se requiere un mecanismo elevador. Aunque existe alguna dificultad debido a la carencia de velocidad correcta para todas las pasadas, el laminador de tres rodillos es menos costoso para hacerse y tiene un mayor rendimiento que el laminador reversible.

Los tochos podrían laminarse en un gran laminador del tamaño usado para lupias, pero esto no se acostumbra hacer por razones económicas. Frecuentemente se laminan lupias en un laminador continuo de tochos compuesto de alrededor de ocho estaciones de laminado en línea recta. El acero formado, por ultimo pasa a través del laminador y sale con un tamaño final de tocho, aproximadamente de 50mm por 50mm, el cual es la materia prima para muchas formas finales tales como barras, tubos y piezas forjadas.

Además, muchos laminadores especiales toman productos previamente laminados y fabrican con ellos artículos terminados como rieles, formas estructurales, placas y barras. Tales laminadores usualmente llevan el nombre del producto que se lamina y, aparentemente, son semejantes a los laminadores usados para lupias y tochos.

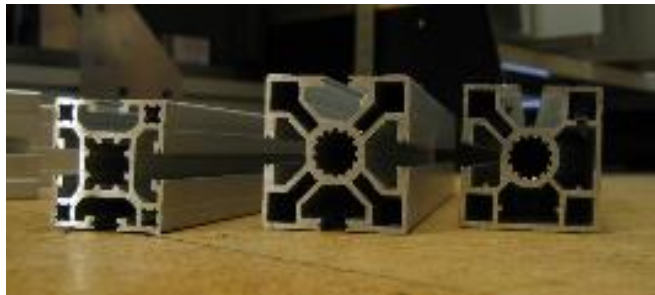
### 5.1.3. Extrusión

Aluminio extruido

#### EXTRUSION

En este proceso un cilindro o trozo de metal es forzado a través de un orificio por medio de un embolo, por tal efecto, el metal estirado y extruido tiene una sección transversal, igual a la del orificio del dado. Ver fig. 2

Figura 2



## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

Hay dos tipos de extrusión, extrusión directa y extrusión indirecta o invertida. En el primer caso, el embolo y el dado están en los extremos opuestos del cilindro y el material es empujado contra y a través del dado. En la extrusión indirecta el dado es sujetado en el extremo de un embolo hueco y es forzado contra el cilindro, de manera que el metal es extruido hacia atrás, a través del dado.

La extrusión puede llevarse a cabo, ya sea en caliente o en frio, pero es predominantemente un proceso de trabajo en caliente. La única excepción a esto es la extrusión por impacto, en la cual el aluminio o trozos de plomo son extruidos por un rápido golpe para obtener productos como los tubos de pasta de dientes. En todos los procesos de extrusión hay una relación critica entre las dimensiones del cilindro y las de la cavidad del contenedor, especialmente en la sección transversal. Ver fig.3

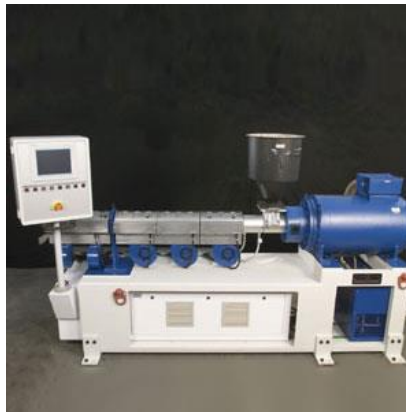


Figura 3

El proceso se efectúa a una temperatura de 450 a 500 oC con el fin de garantizar la extrusión. El diseño de la matriz se hace de acuerdo con las necesidades del mercado o del cliente particular.

La extrusión nos permite obtener secciones transversales solidas o tubulares que en otros metales seria imposible obtener sin recurrir al ensamble de varias piezas.

Extrusión Los metales que pueden trabajarse en caliente pueden extruirse con formas de sección transversal uniforme con ayuda de presión. El principio de extrusión, similar a la acción del chorro de la pasta de dientes de un tubo, ha sido muy usado para procesos en serie desde la producción de ladrillos, tubo de desagüe, tubo de drenaje, hasta la manufactura de macarrones. Algunos metales como el plomo, estaño y aluminio pueden extruirse en frio, mientras que otros requieren la aplicación de calor para hacerlos plásticos o semisólidos antes de la extrusión. En la operación actual de extrusión, los procesos difieren un poco, dependiendo del metal y aplicación, pero en resumen consisten en forzar al metal (confinado en una cámara de presión) a salir a través de dados especialmente formados. Varillas, tubos, guarniciones moldeadas, formas estructurales, cartuchos de bronce, y cables forrados con plomo son productos característicos de metales extruidos.

La mayoría de las prensas usadas en el extruido convencional de metales son de tipo horizontal y operadas hidráulicamente. Las velocidades de operación dependen sobre

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

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

Las ventajas de la extrusión incluyen la facilidad de producir una variedad de formas de alta resistencia, buena exactitud y terminado de superficie a altas velocidades de producción, y relativamente con un bajo costo de los dados. Mas deformaciones o cambio de forma pueden conseguirse por este proceso que por cualquier otro, excepto fundición. Longitudes casi ilimitadas de sección transversal continua pueden producirse, y debido al bajo costo de los dados, series de producción de 150 m pueden justificar su uso.

El proceso es alrededor de tres veces mas lento que la forja por rolado, y la sección transversal debe permanecer constante. Existen muchas variantes de este proceso.

El metal es extruido a través del dado abriéndolo hasta que solo queda una pequeña cantidad. Entonces es cortado cerca del dado y se elimina el extremo.

**Extrusión Indirecta** La extrusión indirecta. Se requiere menos fuerza por este método, debido a que no existe fuerza de rozamiento entre el tocho y la pared continente. El debilitamiento del apisonador cuando es hueco y la imposibilidad de proveer soporte adecuado para la parte extruida constituyen las restricciones de este proceso.

**Extrusión por Impacto** En la extrusión por impacto un punzón es dirigido al pedazo de metal con una fuerza tal que este es levantado a su alrededor. La mayoría de las operaciones de extrusión por impacto, tales como la manufactura de tubos plegables, son trabajadas en frio. Sin embargo hay algunos metales y productos, particularmente aquellos en los cuales se requieren paredes delgadas, en los que los pedazos de metal son calentados a elevadas temperaturas. La extrusión por impacto es cubierta en el capitulo siguiente sobre trabajo en frio.

### 5.1.4 Trefilado

- Apropiado para estirar alambre de 8 mm o 6 mm a diámetros menores hasta 2 mm o menos para fabricar clavos puntas de paris.
- Apropiado también para estirar alambre para fabricar alambre de púas, mallas de alambre, etc.
- Disponible también Maquinaria para Estirado de alambre fino tipo Mojado / desliz.

Proceso de trefilacion

La trefilacion consiste en cambiar y/o reducir la sección de una barra haciéndola pasar por tracción a través de un dado cónico. Este proceso se realiza en frio. En general este proceso es económico para barras de menos de 10mm de diámetro.

Trefilacion de una barra circular

Este método se basa en plantear el equilibrio de macro elementos del material, suponiendo una distribución de tensiones uniformes, mas la aplicación posterior de la condición de fluencia.

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

### Trefilado

Se entiende por **trefilar** a la operación de conformación en frío consistente en la reducción de sección de un alambre o varilla haciéndolo pasar a través de un orificio cónico practicado en una herramienta llamada hilera o dado. Los materiales mas empleados para su conformación mediante trefilado son el acero, el cobre, el aluminio y los latones, aunque puede aplicarse a cualquier metal o aleación dúctil. Ver fig 4

Figura 4



El trefilado propiamente dicho consiste en el estirado del alambre en frío, por pasos sucesivos a través de hileras, dados o trefilas de carburo de tungsteno cuyo diámetro es paulatinamente menor. Esta disminución de sección da al material una cierta acritud en beneficio de sus características mecánicas.

La disminución de sección en cada paso es del orden de un 20% a un 25% lo que da un aumento de resistencia entre 10 y 15 kg/mm<sup>2</sup>. Alcanzado cierto limite, variable en función del tipo de acero, no es aconsejable continuar con el proceso de trefilado pues, a pesar que la resistencia a tracción sigue aumentando, se pierden otras características como la flexión.

Si es imprescindible disminuir el diámetro del alambre, se hace un nuevo **tratamiento térmico** como el **recocido** que devuelve al material sus características iniciales.

Las maquinas utilizadas para realizar este proceso se denominan trefiladoras. En ellas se hace pasar el alambre a través de las hileras, como se ha dicho antes. Para lograrlo el alambre se enrolla en unos tambores o bobinas de tracción que fuerzan el paso del alambre por las hileras. Estas hileras se refrigeran mediante unos lubricantes en polvo y las bobinas o tambores de tracción se refrigeran normalmente con agua y aire. Las trefiladoras pueden ser de acumulación en las que no hay un control de velocidad estricto entre pasos o con palpadores en las que si se controla la velocidad al mantener el palpador una tensión constante.

### Estirado y trefilado

El estirado y el trefilado son dos procedimientos de conformación de materiales dúctiles que se realizan estirándolos a través de orificios calibrados, denominados hileras.



## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

La operación consiste en deformar el metal mediante la aplicación de una fuerza delantera que obliga al metal a pasar por la abertura de la matriz, que controla la geometría, y el tamaño de la sección de salida.

El estirado incluye operaciones en las que se estira el metal, en herramientas contenedoras adecuadas, a partir de laminas o blancos planos, para formar tazas cilíndricas o formas rectangulares o formas irregulares, de mucha o poca profundidad. En este proceso grandes cantidades de barras, tubos, alambres y secciones especiales son terminadas mediante estirado en frío.

La relación entre la forma o diámetro antes de estirar y la forma o diámetro después de estirar, determina la magnitud de los esfuerzos. Las operaciones intensas de estirado en frío requieren material muy dúctil y, como consecuencia de la cantidad de deformación plástica, endurecen el metal con rapidez y se necesita recocido para restaurar la ductilidad para trabajo adicional.

El trabajo de estirado es, más o menos, el producto de la longitud del estiramiento y la presión máxima del punzón, porque la carga se eleva con rapidez hasta su máximo, permanece constante y tiene un brusco descenso al final del estiramiento, salvo que halla fricción contra la pared.

### **Estirado de alambre**

Una varilla de metal se aguza en uno de sus extremos y luego es estirada a través del orificio cónico de un dado. La varilla que entra al dado tiene un diámetro mayor y sale con un diámetro menor. En los primeros ejemplos de este proceso, fueron estiradas longitudes cortas manualmente a través de una serie de agujeros de tamaño decreciente en una "placa de estirado" de hierro colado o de acero forjado. En las instalaciones modernas, grandes longitudes son estiradas continuamente a través de una serie de dados usando un número de poleas mecánicamente guiadas, que pueden producir muy grandes cantidades de alambre, de grandes longitudes a alta velocidad, usando muy poca fuerza humana. Usando la forma de orificio apropiada, es posible estirar una variedad de formas tales como óvalos, cuadrados, hexágonos, etc., mediante este proceso.

#### 5.1.5 Embutición

##### **Cubo para embutir acero**

##### **EMBUTIDO PROFUNDO Y PRENSADO**

El embutido profundo es una extensión del prensado en la que a un tejo de metal, se le da una tercera dimensión considerable después de fluir a través de un dado. El prensado simple se lleva a cabo presionando un trozo de metal entre un punzón y una matriz, así como al indentar un blanco y dar al producto una medida rígida. Latas para alimentos y botes para bebidas, son los ejemplos más comunes.

Como se verá más adelante, este proceso puede llevarse a cabo únicamente en frío. Cualquier intento de estirado en caliente, produce en el metal un cuello y la ruptura. El

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

anillo de presión en la Fig. 4, evita que el blanco se levante de la superficie del dado, dando arrugas radiales o pliegues que tienden a formarse en el metal fluyendo hacia el interior desde la periferia del orificio del dado. Embutido Para productos sin costura que no pueden hacerse con equipo convencional de rolado, se usa el proceso ilustrado en la Fig.21. Se calienta una lupia a 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 forjada es recalentada y colocada en el banco de estirado en caliente que consiste de algunos dados, que decrecen sucesivamente en diámetro, montados en un bastidor. El punzón operado hidráulicamente fuerza al cilindro caliente a través de la longitud completa del banco de estirado. Ver fig. 5

Cubo para embutir acero

Figura 5



Para cilindros largos o tubos de pared delgada, pueden requerirse calentamientos y embutidos repetidos. Si el producto final es un tubo, el extremo cerrado es cortado y el resto es enviado a través de rodillos para terminado y calibrado, similares a los usados en el proceso de perforado.

### 5.1.6 Forja

#### FORJADO<sup>2</sup>

En el caso mas simple, el metal es comprimido entre martillo y un yunque y la forma final se obtiene girando y moviendo la pieza de trabajo entre golpe y golpe. Para producción en masa y el formado de secciones grandes, el martillo es sustituido por un martinete o dado deslizante en un bastidor e impulsado por una potencia mecánica, hidráulica o vapor. Ver fig. 6

Figura 6



<sup>2</sup> José María Laceras y Esteban; TECNOLOGÍA DEL ACERO; Editorial. Zaragoza./ 2000

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

Un dispositivo utiliza directamente el empuje hacia abajo que resulta de la explosión en la cabeza de un cilindro sobre un pistón móvil. Los dados que han sustituido al martillo y al yunque pueden variar desde un par de herramientas de cara plana, hasta ejemplares que tiene cavidades apareadas capaces de ser usadas para producir las formas mas complejas. Si bien, el forjado puede realizarse ya sea con el metal caliente o frio, el elevado gasto de potencia y desgaste en los dados, así como la relativamente pequeña amplitud de deformacion posible, limita las aplicaciones del forjado en frio. Un ejemplo es el acunado, donde los metales superficiales son impartidos a una pieza de metal por forjado en frio. El forjado en caliente se esta utilizando cada vez mas como un medio para eliminar uniones y por las estructuras particularmente apropiadas u propiedades que puede ser conferidas al producto final. Es el método de formado de metal mas antiguo y hay muchos ejemplos que se remontan hasta 1000 años A. C.

Forjado.

Proceso de modelado del hierro y otros materiales maleables golpeándolos o troquelándolos después de hacerlos dúctiles mediante aplicación de calor.

Las técnicas de forjado son útiles para trabajar el metal porque permiten darle la forma deseada y además mejoran la estructura del mismo, sobre todo porque refinan su tamaño de grano. El metal forjado es mas fuerte y dúctil que el metal fundido y muestra una mayor resistencia a la fatiga y el impacto.

### FORJA MANUAL

La forja manual es la forma mas sencilla de forjado y es uno de los primeros métodos con que se trabajo el metal. Primero, el metal se calienta al rojo vivo en el fuego de una fragua, y después se golpea sobre un yunque para darle forma con grandes martillos denominados machos de fragua. Esta es un hogar abierto construido con una sustancia refractaria y duradera, como ladrillo refractario, y dotado de una serie de aberturas por las que se fuerza el aire mediante un fuelle o un ventilador. En la fragua se emplean como combustible diversos tipos de carbón, entre ellos coque o carbón vegetal. El herrero además de martillos, emplea otras herramientas en las diferentes operaciones de forja.

Forja con martinete.

Otro proceso especial de formación es la forja con martinete, que es un proceso mecánico en el cual se calienta el hierro al rojo, condición en que es mas maleable, formándolo por medio de golpes, y finalmente templándolo por enfriamiento brusco en agua o en aceite.

La forja mecánica hace lo mismo con grandes martillos “pilones” automáticos.

La forja fue el primer método de trabajo en caliente como se muestra en la histórica fotografía de la Fig.1. Una prensa movida por una fuente de potencia general y una banda desde los arboles, tiene un brazo descendente y golpea un pedazo caliente de metal colocado en un dado. Los procesos, mientras la tecnología se ha mejorado, hoy permanecen semejantes.

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

### Deformación plástica

Los dos tipos principales de trabajo mecánico en los cuales el material puede sufrir una deformación plástica y cambiarse de forma son trabajos en caliente y trabajos en frío. Como muchos conceptos metalúrgicos, la diferencia entre trabajo en caliente y en frío no es fácil de definir. Cuando al metal se le trabaja en caliente, las fuerzas requeridas para deformarlo son menores y las propiedades mecánicas se cambian moderadamente. Cuando a un metal se le trabaja en frío, se requieren grandes fuerzas, pero el esfuerzo propio del metal se incrementa permanentemente.

La temperatura de recristalización de un metal determina si el trabajo en caliente o en frío está siendo cumplido o no. El trabajo en caliente de los metales toma lugar por encima de la recristalización o rango de endurecimiento por trabajo. El trabajo en frío debe hacerse a temperaturas abajo del rango de recristalización y frecuentemente es realizado a temperatura ambiente. Para el acero, la recristalización permanece alrededor de 500°C a 700°C, aunque la mayoría de los trabajos en caliente del acero se hacen a temperaturas considerablemente arriba de este rango. No existe tendencia al endurecimiento por trabajo mecánico hasta que el límite inferior del rango recristalino se alcanza. Algunos metales, tales como el plomo y el estaño, tienen un bajo rango recristalino y pueden trabajarse en caliente a temperatura ambiente, pero la mayoría de los metales comerciales requieren de algún calentamiento. Las composiciones aleadas tienen una gran influencia sobre todo en el rango de trabajo conveniente, siendo el resultado acostumbrado aumentar la temperatura del rango recristalino. Este rango también puede incrementarse por un trabajo anterior en frío.

Durante todas las operaciones de trabajo en caliente, el metal está en estado plástico y es formado rápidamente por presión. Adicionalmente, el trabajo en caliente tiene las ventajas siguientes:

1. La porosidad en el metal es considerablemente eliminada. La mayoría de los lingotes fundidos contienen muchas pequeñas sopladuras. Estas son prensadas y a la vez eliminadas por la alta presión de trabajo.
2. Las impurezas en forma de inclusiones son destrozadas y distribuidas a través del metal.
3. Los granos gruesos o prismáticos son refinados. Dado que este trabajo está en el rango recristalino, sería mantenido hasta que el límite inferior es alcanzado para que proporcione una estructura de grano fino.
4. Las propiedades físicas generalmente se mejoran, principalmente debido al refinamiento del grano. La ductilidad y la resistencia al impacto se perfeccionan, su resistencia se incrementa y se desarrolla una gran homogeneidad en el metal. La mayor resistencia del acero laminado existe en la dirección del flujo del metal.
5. La cantidad de energía necesaria para cambiar la forma del acero en estado plástico es mucho menor que la requerida cuando el acero está frío. Todos los procesos de trabajo en caliente presentan unas cuantas desventajas que no pueden ignorarse. Debido a la

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

alta temperatura del metal existe una rápida oxidación o escamado de la superficie con acompañamiento de un pobre acabado superficial. Como resultado del escamado no pueden mantenerse tolerancias cerradas. El equipo para trabajo en caliente y los costos de mantenimiento son altos, pero el proceso es económico comparado con el trabajo de metales a bajas temperaturas.

El termino acabado en caliente, se refiere a barras de acero, placas o formas estructurales que se usan en estado "laminado" en el que se obtienen de las operaciones de trabajo en caliente. Se hacen algunos desescamados pero por lo demás el acero esta listo para usarse en puentes, barcos, carros de ferrocarril, y otras aplicaciones en donde no se requieren tolerancias cerradas. El material tiene buena soldabilidad y maquinabilidad, dado que el contenido de carbono es menor del 0.25%. Los principales métodos de trabajo en caliente de los metales son:

- A. Laminado
- B. Forjado
  - 1. Forja de herrero o con martillo
  - 2. Forja con martinete
  - 3. Forja horizontal
  - 4. Forja con prensa
  - 5. Forja de laminado
  - 6. Estampado
- C. Extrusión
- D. Manufactura de tubos
- E. Embutido
- Rechazado en caliente
- G. Métodos especiales

Laminado Los lingotes de acero que no son refusionados y fundidos en moldes se convierten en productos utilizables en dos pasos:

1. Laminando el acero en formas intermedias-lupias, tochos y planchas. 2. Procesando lupias, tochos y planchas en placas, laminas, barras, formas estructurales u hojalata. El acero permanece en las lingoteras hasta que su solidificación es casi completa, que es cuando los moldes son removidos.

Mientras permanece caliente, los lingotes se colocan en hornos de gas llamados fosos de recalentamiento, en donde permanecen hasta alcanzar una temperatura de trabajo uniforme de alrededor de 1200 °C en todos ellos. Los lingotes entonces se llevan al tren de laminación en donde debido a la gran variedad de formas terminadas por hacer, son primero laminadas en formas intermedias como lupias, tochos o planchas. Una lupia tiene una sección transversal con un tamaño mínimo de 150 x 150mm. Un tocho es mas pequeño que una lupia y puede tener cualquier sección desde 40mm hasta el tamaño de una lupia. Las planchas pueden laminarse ya sea de un lingote o de una lupia. Tienen un área de sección transversal rectangular con un ancho mínimo de 250mm y un espesor mínimo de 40mm. El ancho siempre es 3 o mas veces el espesor y puede ser cuando mucho de 1500mm. Placas, plancha para tubos y fleje se laminan a partir de planchas.

## 5. PROCESOS DE CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA MASA

Un efecto del trabajo en caliente con la operación de laminado, es el refinamiento del grano causado por recristalización. Esto se muestra gráficamente en la Fig.2. La estructura gruesa es definitivamente despedazada y alargada por la acción de laminado. Debido a la alta temperatura, la recristalización aparece inmediatamente y comienzan a formarse pequeños granos. Estos granos crecen rápidamente hasta que la recristalización es completa. El crecimiento continua a altas temperaturas, si además la elaboración no es mantenida, hasta que la temperatura baja del rango recristalino es alcanzada.

Los arcos AB y A'B' son arcos constantes sobre los rodillos. La acción de acunadura en la elaboración es superada por las fuerzas de rozamiento que actúan en estos arcos y arrastran al metal a través de los rodillos. El metal emerge de los rodillos viajando a mayor velocidad de la que entra. En un punto medio entre A y B la velocidad del metal es la misma que la velocidad periférica del rodillo. La mayoría de la deformación toma lugar en el espesor aunque hay algún incremento en el ancho. La uniformidad de la temperatura es importante en todas las operaciones de laminado, puesto que controla el flujo del metal y la plasticidad.

### Fuentes de Información

#### a) Libros

No	Tipo	Título	Autor	Editorial	Año
1	Libro	Fundamentos de manufactura moderno materiales, procesos y sistemas	Mkell P. Groover	A Simon y Shuster Company	2010
2	Libro	Tecnología del acero	José Maria Laceras y Esteban	Zaragoza	2000