

BLOQUE IV.- Materiales metálicos

Tema 12.- Tratamientos Térmicos

* William F. Smith
"Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales".
Tercera Edición. Ed. Mc-Graw Hill

* James F. Shackelford
"Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros".
Cuarta edición. Ed. Prentice Hall (1998)

Modificar la naturaleza de los constituyentes sin variar la composición.

Ocasionar modificaciones estructurales, de dimensión y de forma de los microconstituyentes, sin modificar su naturaleza.

Producir mediante procesos químicos o químico-físicos, modificaciones en la composición química del material en su superficie.

Conferir propiedades particulares a las capas superficiales.

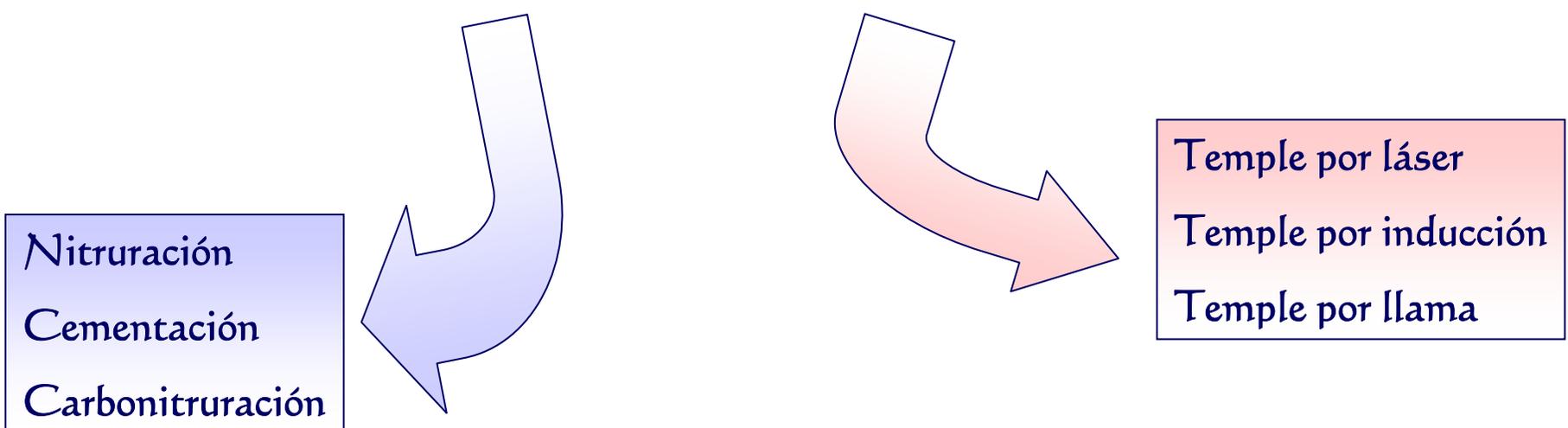
Modificar la distribución y la intensidad de las tensiones internas.

A. Tratamientos Isotérmicos o Curvas **TTT** (**T**emp-**T**iempo-(porcentaje de **T**ransformación)

- Son similares a los diagramas de fase

B. Tratamientos con Enfriamiento Continuo: Curvas **CCT**

C. Tratamientos con Cambio y sin Cambio en la Composición Química

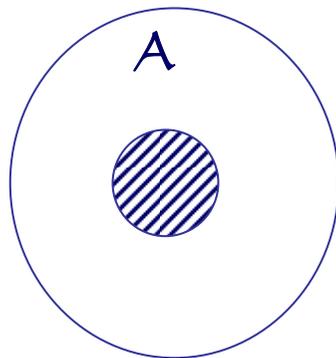


Nitruración
Cementación
Carbonitruración

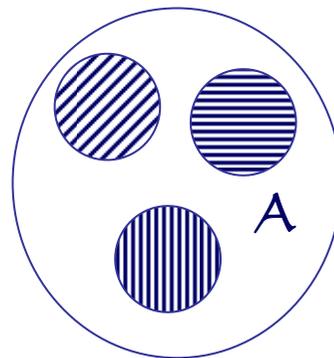
Temple por láser
Temple por inducción
Temple por llama

Transformaciones de fase que ocurren en un acero con una **determinada composición** cuando es enfriado a **Temp. constante** por debajo de la temperatura de eutectoide durante **cierto Tiempo**

Ej probeta de un acero 0.77% calentado a $T > A_3$, y enfriado a $T < A_1$ (705°)



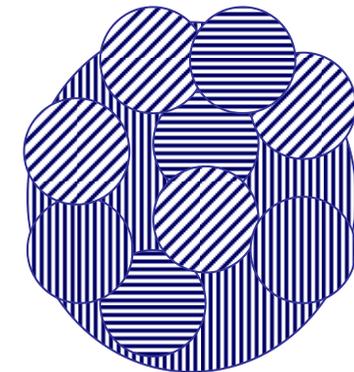
t. 5,8 s
Comienza la
nucleación de la
Perlita



t. 19,2 s
25% de la A \rightarrow P

Tiempo $\uparrow \uparrow \uparrow$

$\uparrow \uparrow$ % de Austenita
transformada

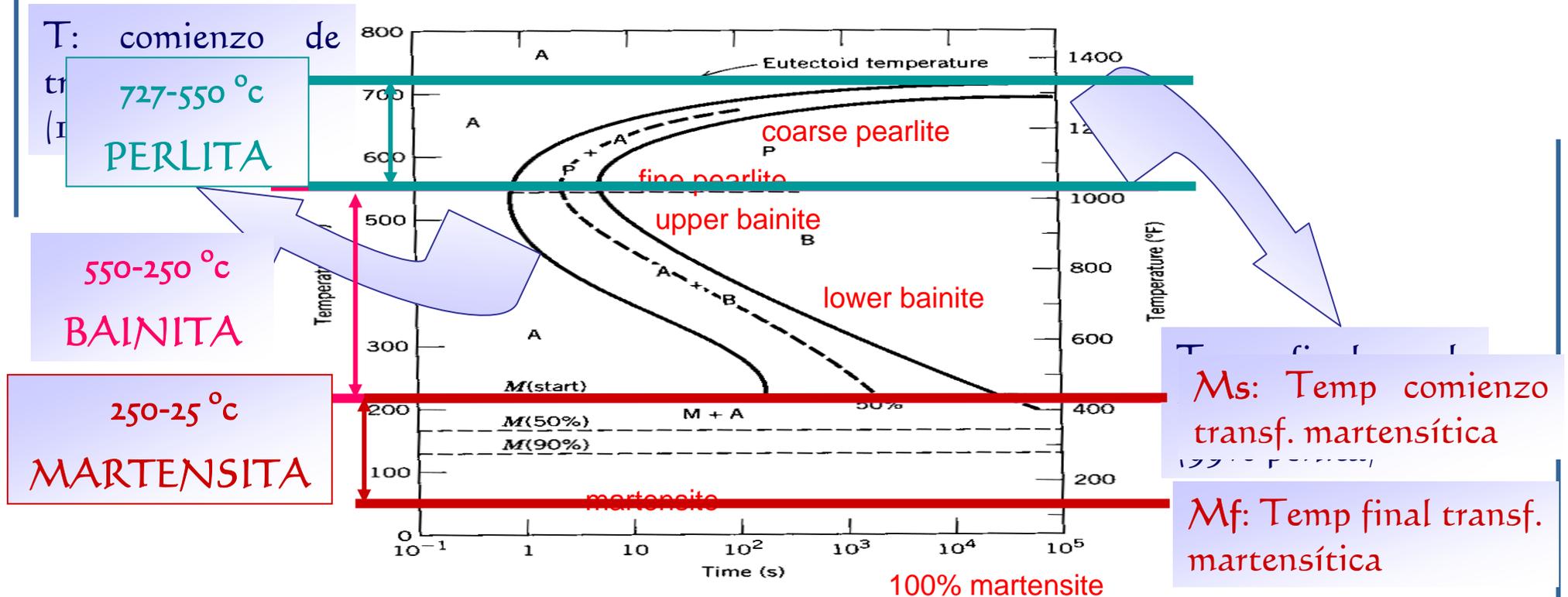


t. 1 h
100% de la A \rightarrow P

Tratamientos Isotermos: Curvas T-T-T

Transformaciones de fase a Temperatura constante

Es específico para cada composición y elementos aleantes del acero



La austenita, Fe- γ se transforma en:

- **Perlita** (láminas paralelas)
- **Trostita** (microestructura muy especial)
- **Bainita**, (agujas muy finas (plumas de pájaro))
- **Martensita** (Sol. Sól sobresaturada de C en Fe- α)

⇒ **Perlita. Tipos:** fina, normal y gruesa. ⇒ f(veloc. de enfriamiento)

⇒ **Trostita:** perlita muy, muy fina; formas nodulares en bordes de grano austenítico.

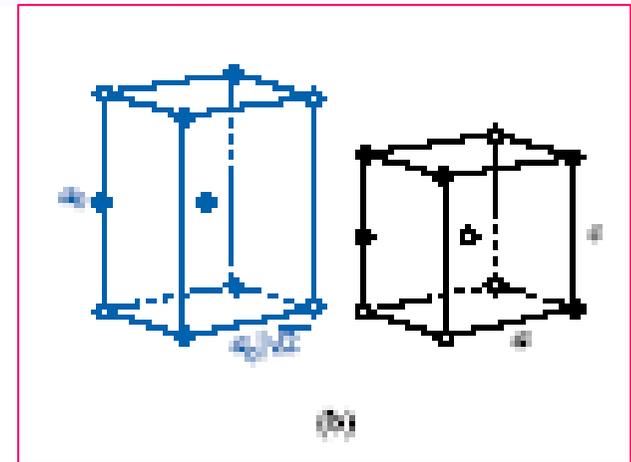
- **TRANSFORMACIÓN PERLÍTICA:** $A \rightarrow P$ (o $P+F$, o $P+C$) ⇒ enfriamiento lento
- **TRANSFORMACIÓN BAINÍTICA:** $A \rightarrow$ bainita ⇒ enfriamiento rápido
- **TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA:** $A \rightarrow$ martensita ⇒ enfriamiento muy muy rápido. (Transformación atérmica, ya que no sigue el diagrama de equilibrio)

- **Transformación: Austenita \Rightarrow Martensita**
- (Enfriamiento muy, muy rápido en agua (TEMPLE). No existe difusión)

Fase metaestable: Sol.Sol intersticial sobresaturada de carbono en hierro BCC o hierro tetragonal centrado en el cuerpo

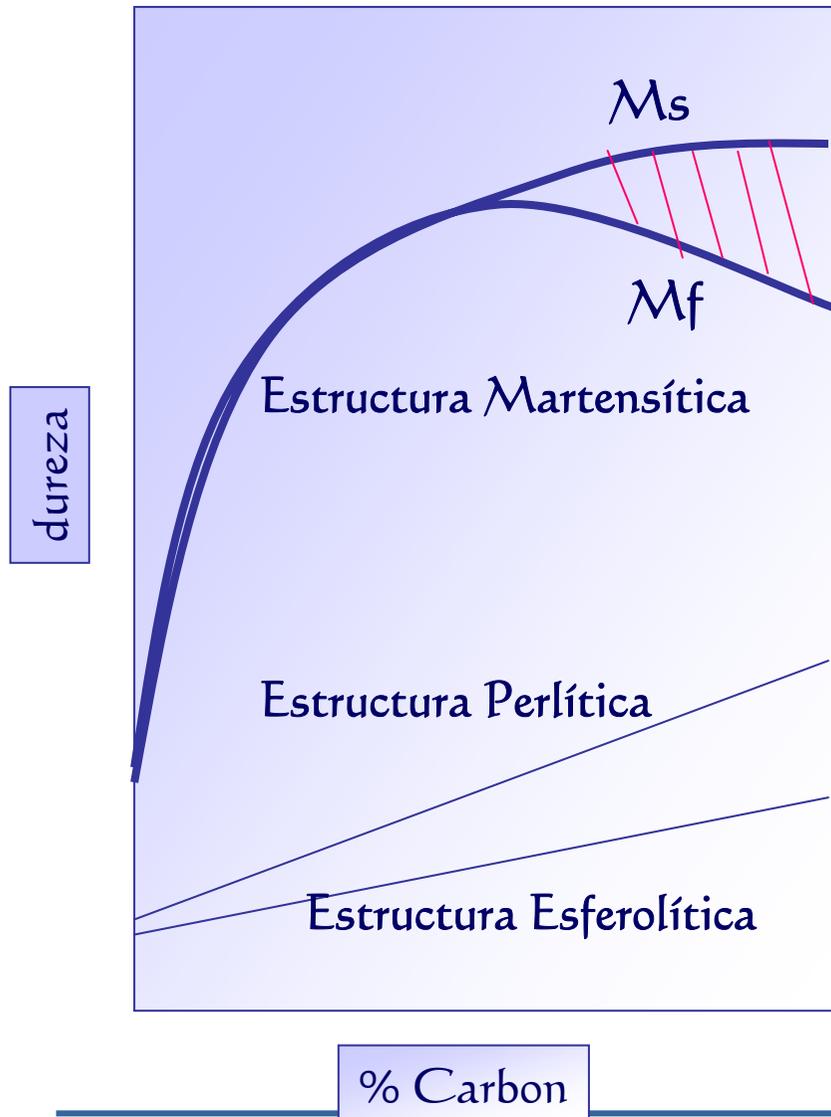
Si %C (acero) $< 0.2 \Rightarrow$ Estruct. Cúbica

Si %C (acero) $> 0.2 \Rightarrow$ Estruct. Tetragonal



Distorsión tetragonal: causante de maclas y dislocaciones \Rightarrow mayor dureza
(al \uparrow %C \Rightarrow \uparrow distorsión \Rightarrow \uparrow maclas y dislocaciones \Rightarrow \uparrow dureza)

Formación de la Martensita (II)



A $\downarrow\downarrow$ %C: M_s y M_f $\downarrow\downarrow$ y incluso se hacen semejantes, y llegando a ser semejantes a la Temp ambiente

- $M_f > T_{amb} \Rightarrow$ Pieza 100% martensita
- $M_f < T_{amb} \Rightarrow$ Pieza sin transformar: **AUSTENITA RETENIDA:** emperora las propiedades mecánicas
 - Todos los elementos aleantes, exc. C_o producen una $\downarrow\downarrow$ de M_s y M_f

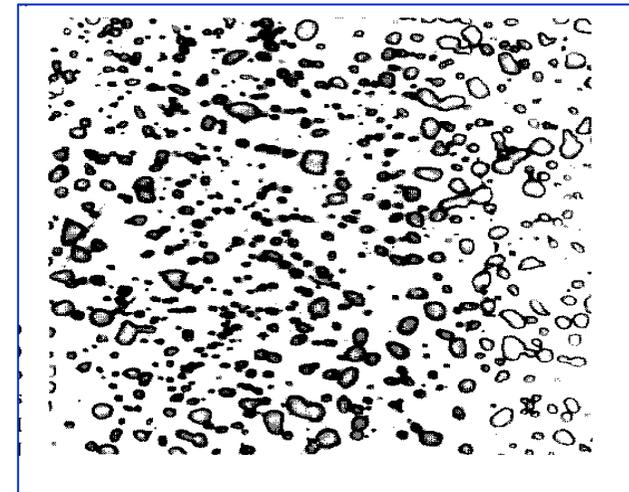
La transformación martensítica produce $\uparrow V/celda \Rightarrow \uparrow$ Tensiones internas \Rightarrow agrietamiento de las piezas

- entre 200 y 540°C, la microestructura perlítica es remplazada por la microestructura bainítica
- Agujas (muy finas) de cementita en una matriz ferrítica

Microestructura Esferolita

- La microestructura esferolita se origina cuando un acero perlítico es calentado y mantenido a una temperatura inferior pero próxima a temperatura eutectoide (~700°C) y durante largo tiempos (~24 hrs)

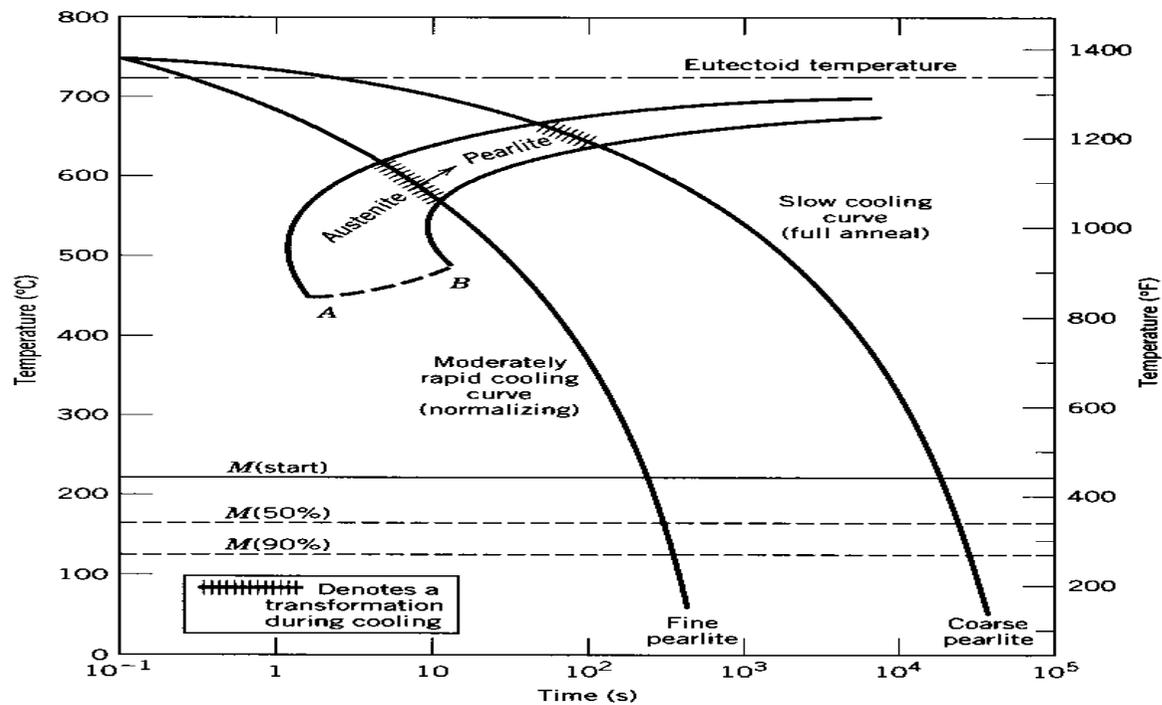
- Esferas de Fe_3C en una matriz ferrítica



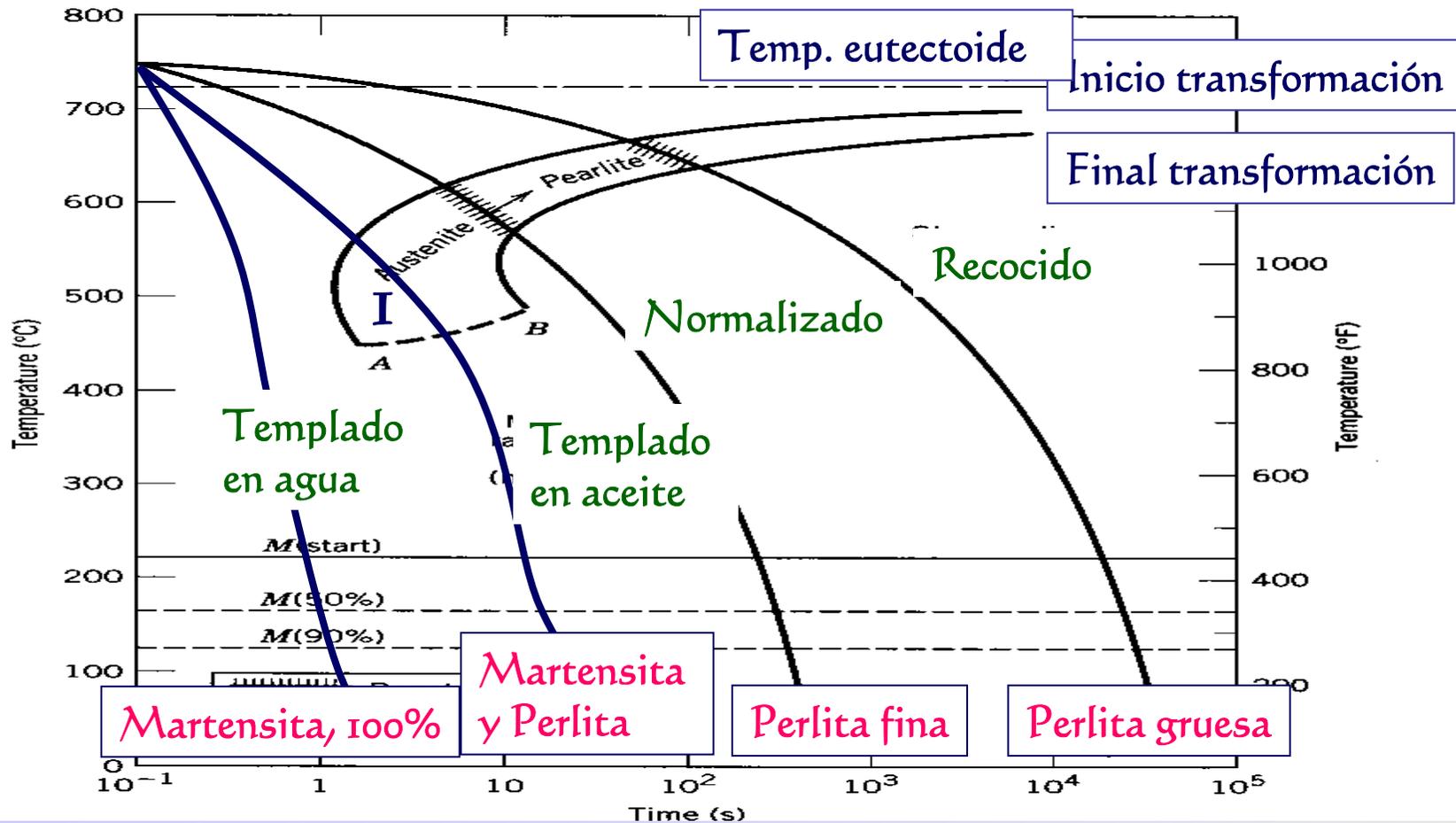
- Constituyente de los aceros templados.
- S.S. sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita
- Se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.
- Contenido en carbono: <1% en peso
- Elevada dureza, resistencia a tracción de 170-250 Kg/m², alargamiento del 0.5al 2.5; muy frágil.
- Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica (A1, 727°C), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio

Transformaciones de Enfriamiento Continuo (CCT)

- Los tratamientos térmicos isoterms no son prácticas y la mayoría de los tratamientos se llevan a cabo mediante enfriamiento continuo hasta temperatura ambiente
- Las curvas denominadas TCC describen las transformaciones durante enfriamientos continuos
- Son similares a las curvas TTT, pero algo desplazadas ya que las líneas de comienzo y final se desplazan hacia la derecha y hacia abajo.



Variación de las microestructura en función de la velocidad de enfriamiento de un Acero Eutectoide



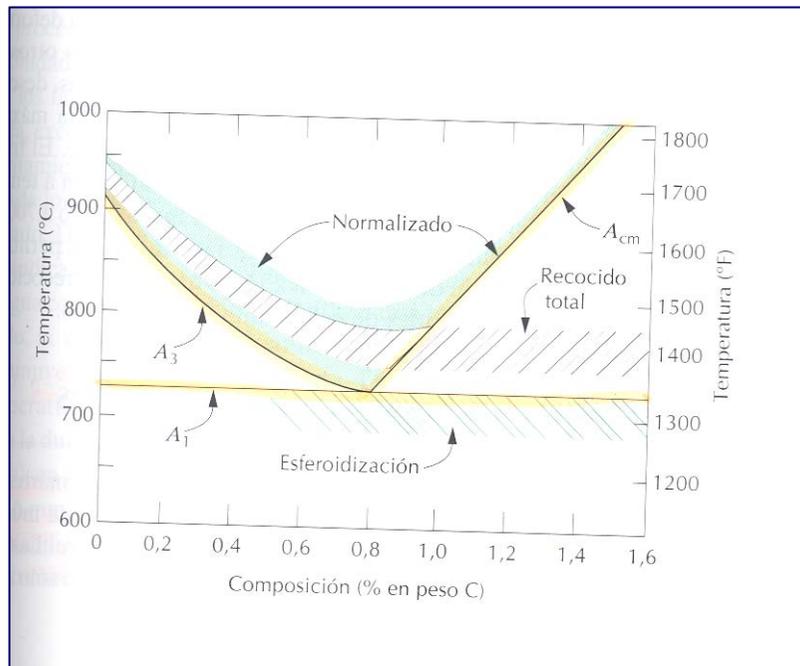
I: no existe final de la transformación A → P; sólo se transforma parte de la A, quedando AUSTENITA RETENIDA

RECOCIDO : a elevada temperatura durante un periodo de tiempo, y luego enfriado lentamente . Se lleva a cabo para:

Eliminar tensiones

Incrementar la plasticidad, ductilidad y la tenacidad.

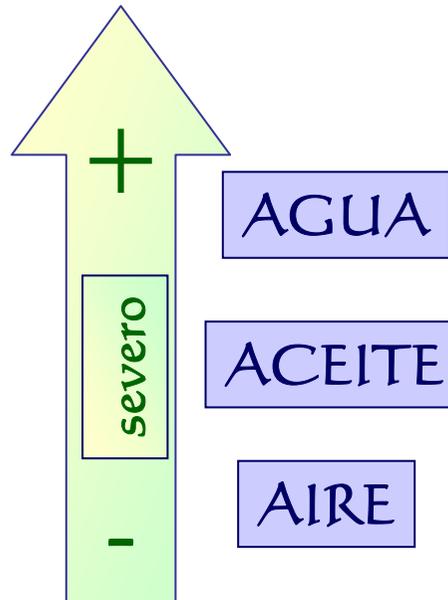
Producir una microestructura específica



NORMALIZADO: igualar tamaño de granos. + (55-85°C) de A₃ o A_{cm} (⇒transf. Austenita) y enfriamiento aire

RECOCIDO TOTAL: favorecer la perlita gruesa (blanda y dúctil). + (15-40°C) de A₃ o A₁ (⇒transf. Austenita) y enfriamiento muy lento dentro del horno

GLOBULIZACIÓN: calentamiento por debajo de Teutectoide, y la Fe₃C de la perlita llega a formar partículas de esferolita.



TEMPLE: capacidad de un acero aleado para transformarse en martensita ($\Rightarrow \uparrow \uparrow$ endurecimiento) durante el trat. Térmico (750°C) y posterior enfriamiento rápido.

\Rightarrow Adecuado para la mayoría de los aceros aleados

REVENIDO: Trat. Térmico a bajas temperaturas ($\approx 300^{\circ}\text{C}$) que elimina tensiones, \uparrow dureza y tenacidad en aceros templado. Se descompone la martensita

- Elevada dureza superficial y un núcleo tenaz, pero lo suficientemente blando para que no se rompa

I.- Tratamientos que no modifican la composición

Temple superficial por llama

Temple por inducción

Temple por láser

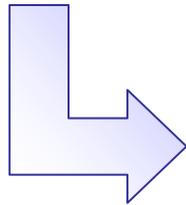
2.- Tratamientos que no modifican la composición

Nitruración

Cementación

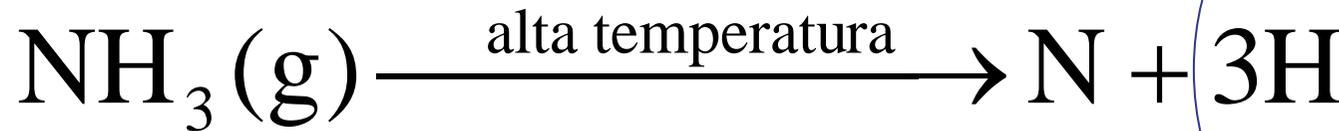
Carbonitruración

NITRURACIÓN: adsorción de N en superficie: \Rightarrow $\uparrow\uparrow\uparrow$ prop. mecánicas



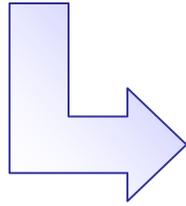
Se forman nitruros (part muy duras y muy resistentes a la corrosión)

Ej de nitruración gaseosa



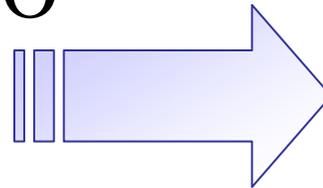
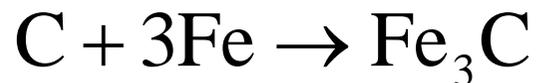
Muy reactivo y se introduce dentro de la pieza

CEMENTACIÓN: proceso que favorece la difusión de C desde el interior a la Superficie:
⇒ ↑↑↑ prop. mecánicas



↑% de C en la superficie ⇒ "carburos"
↑% de Fe₃C en la superficie

Ej Reacciones que tienen lugar



Muy reactivo y se introduce dentro de la pieza

■ Cromado

Es una técnica de protección contra la corrosión que tiene muchas variantes y se puede aplicar al acero, aluminio, magnesio, y zinc.

La formación de óxidos metálicos en la superficie de la pieza de trabajo que reacciona para formar cromatos metálicos. El cromado de aluminio y magnesio mejora la resistencia a la corrosión considerablemente. Con el acero es mucho menos permanente.

■ Galvanizado

Técnica para protección contra la corrosión que se aplica solo a aceros suaves, hierro fundido y aleaciones de acero.

Piezas son sumergidas en zinc líquido a una temperatura de 500°C . Se forma en la superficie de la pieza de trabajo una aleación de zinc/hierro dándole a la pieza una capa adherente de zinc.

Antes del galvanizado, la superficie del metal debe encontrarse en un estado moderado de limpieza. A través de la limpieza ácida.

Las capas galvanizadas son de aproximadamente 0.013 cm de grosor y pueden dar una protección por 10 o 20 años

- **Nitrurizado**

Endurecimiento de superficies utilizado solo en ciertos tipos de aceros.

Las piezas de trabajo se llevan a una atmósfera de amoníaco a 500°C por un máximo de 100 horas.

El nitrógeno se combina con el hierro en la superficie para formar nitrato de hierro.

El nitrógeno lentamente se difunde en la superficie siempre y cuando se mantenga la temperatura adecuada.

El grosor de la superficie endurecida resultante depende de la duración del tratamiento por calor.

Proceso de forja

Es el proceso de darle utilidad a un metal, moldeándolo, perfeccionándolo, mejorando sus propiedades mecánicas y solidez metalúrgica, a través de una deformación plástica controlada por medio de impacto o presión.

Procesos de Moldeo

Pulvimetalurgia

Compresión isostática en caliente

Conformado superplásticoresión isostática en caliente

Laminación
Extrusión
Conformado
Estampado
Fraguado
Estirado

Es una operación donde se hace pasar metal por trenes de rodillos paralelos que le dan una forma progresivamente más parecida a la deseado

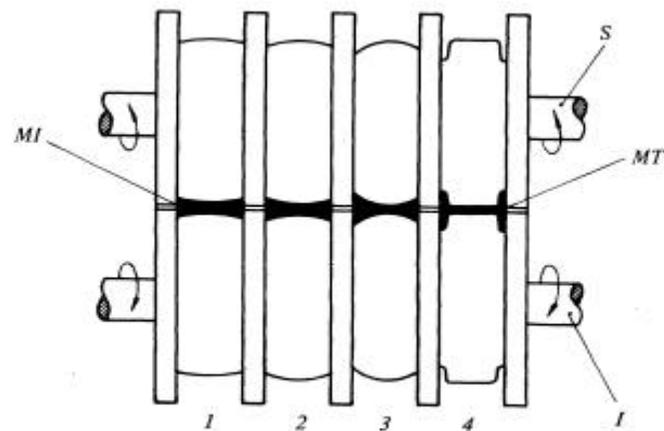
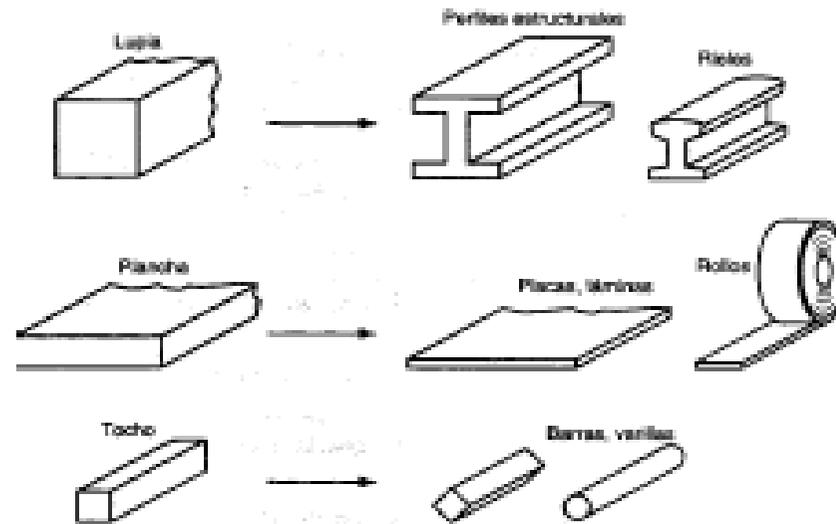
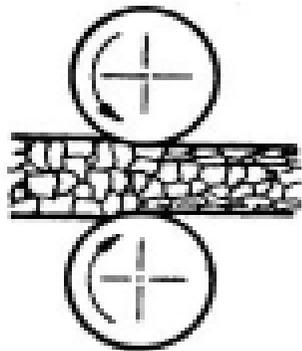
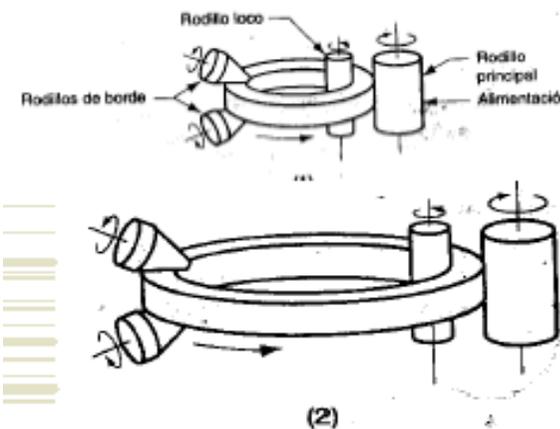
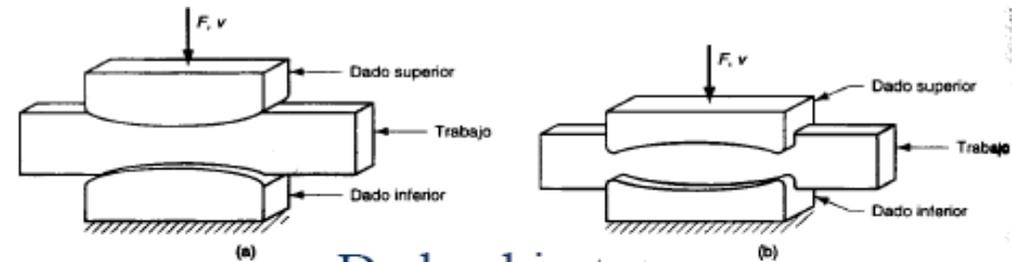


Fig. 5.1.22



Conformado

Se realiza en **caliente** mediante la aplicación de grandes presiones



Dado abierto

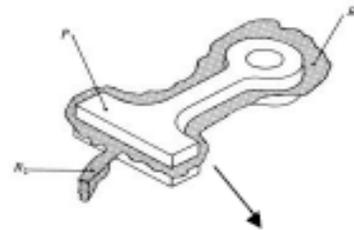
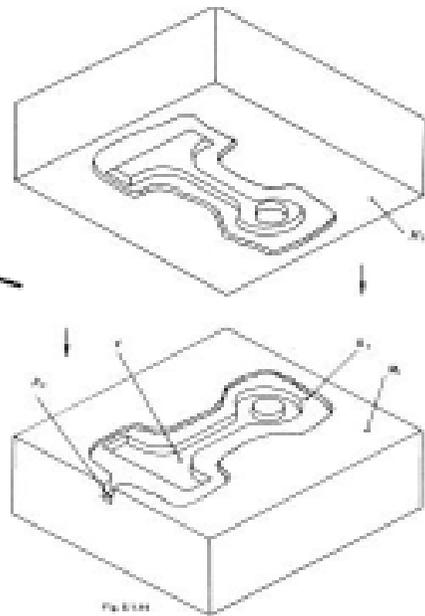
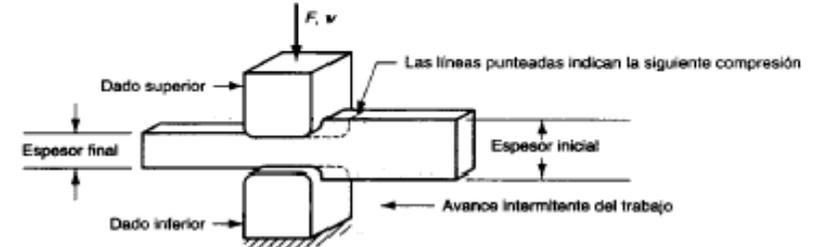
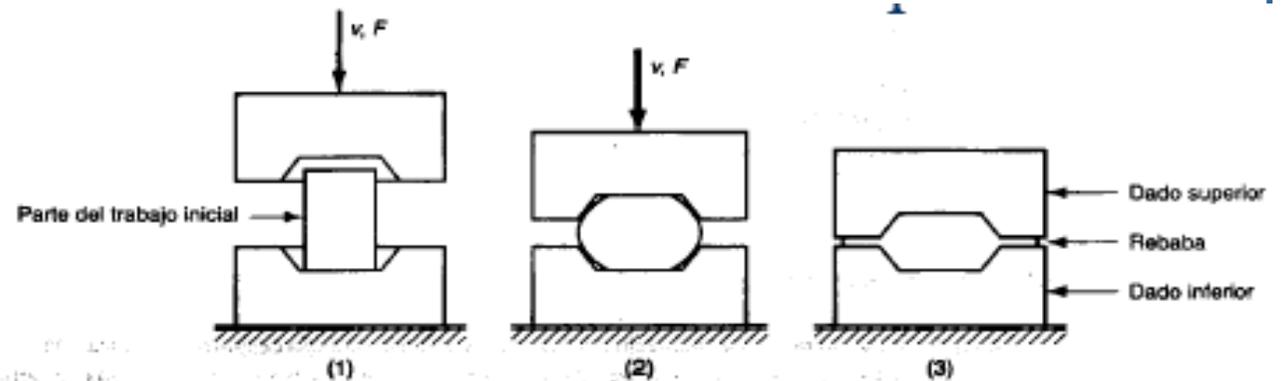
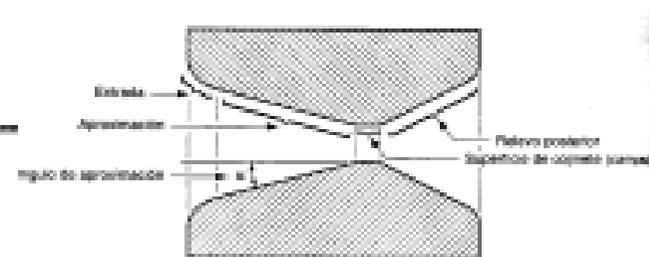
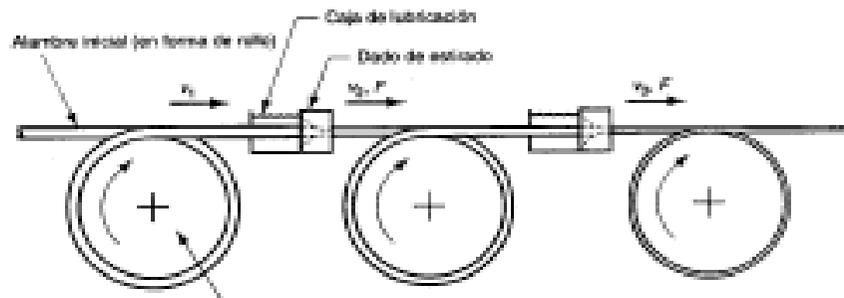
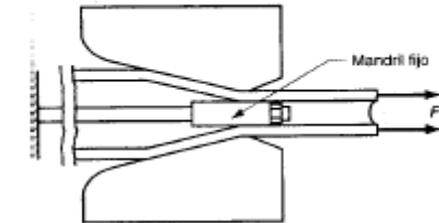
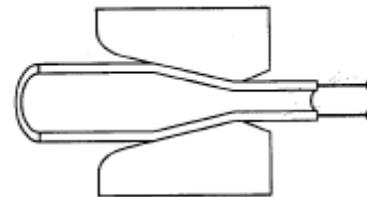
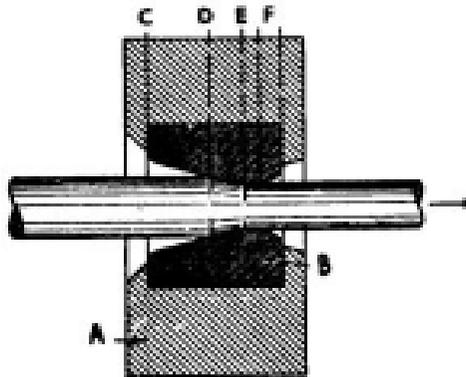


Fig. 8.10.11

Necesidad de un proceso posterior de desbarbado



Es una operación donde la sección transversal de una barra, varilla o alambre se reduce al tirar del material a través de la abertura de un dado

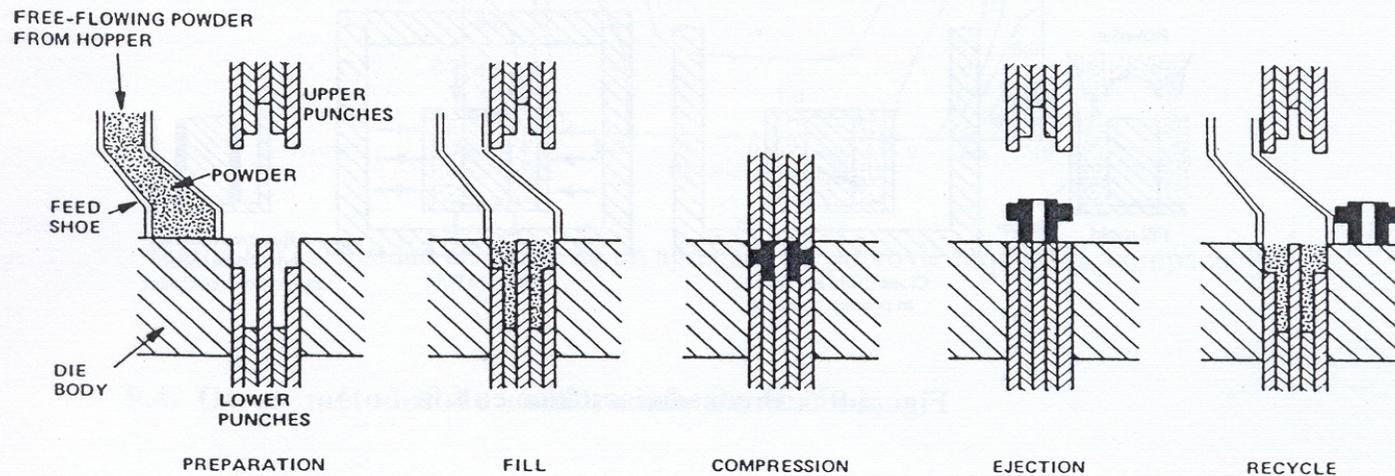


Pulvimetalurgia: Prensado uniaxial

Unión en estado sólido de un polvo fino para obtener piezas de estructura policristalina. Durante un trat. Térmico a alta temperatura (proc. Sinterización) se obtiene un producto prácticamente denso.

Adecuado: Aleaciones de alta temperatura de fusión; piezas con geometrías complejas

PRENSADO UNIAxIAL AUTOMATIZADO



6 a 100 veces por
minuto

Figura 9.4. Proceso de prensado uniaxial automatizado

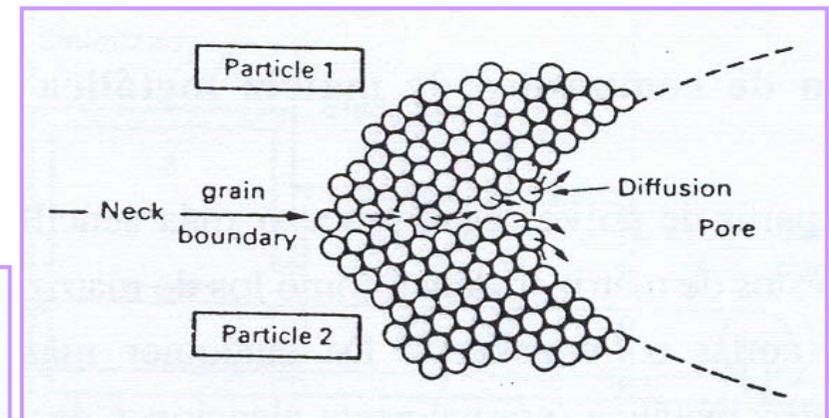
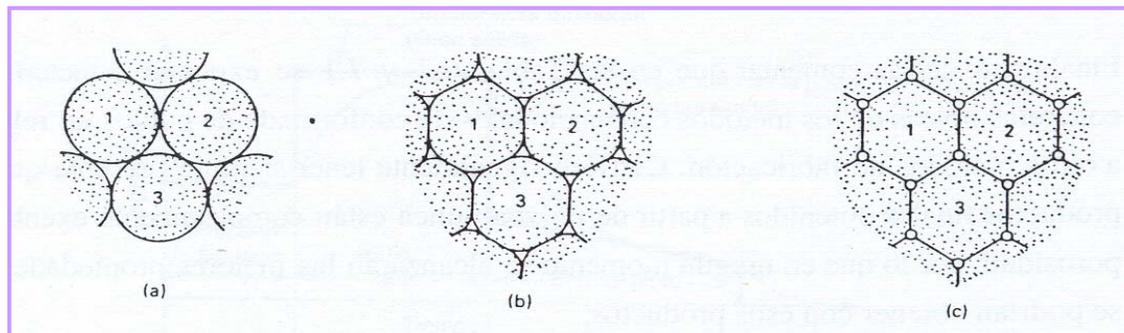
Mejora: COMPACTACIÓN ISOSTÁTICO EN
CALIENTE

Siempre es el tratamiento final en cualquier método de conformado de polvos.

Finalidad: producir la densificación del agregado de polvos después de la compactación, eliminando su porosidad interna y formar enlaces fuertes entre sus partículas constituyentes.

Estos fenómenos tienen lugar espontáneamente cuando se calienta la pieza a temperaturas $T \sim 0,8T_f$ (K)

Fases y mecanismos durante la sinterización



A medida que aumenta la
densidad

mejoran las propiedades
mecánicas del material
(resistencia a tracción,
alargamiento, resistencia al
impacto...)

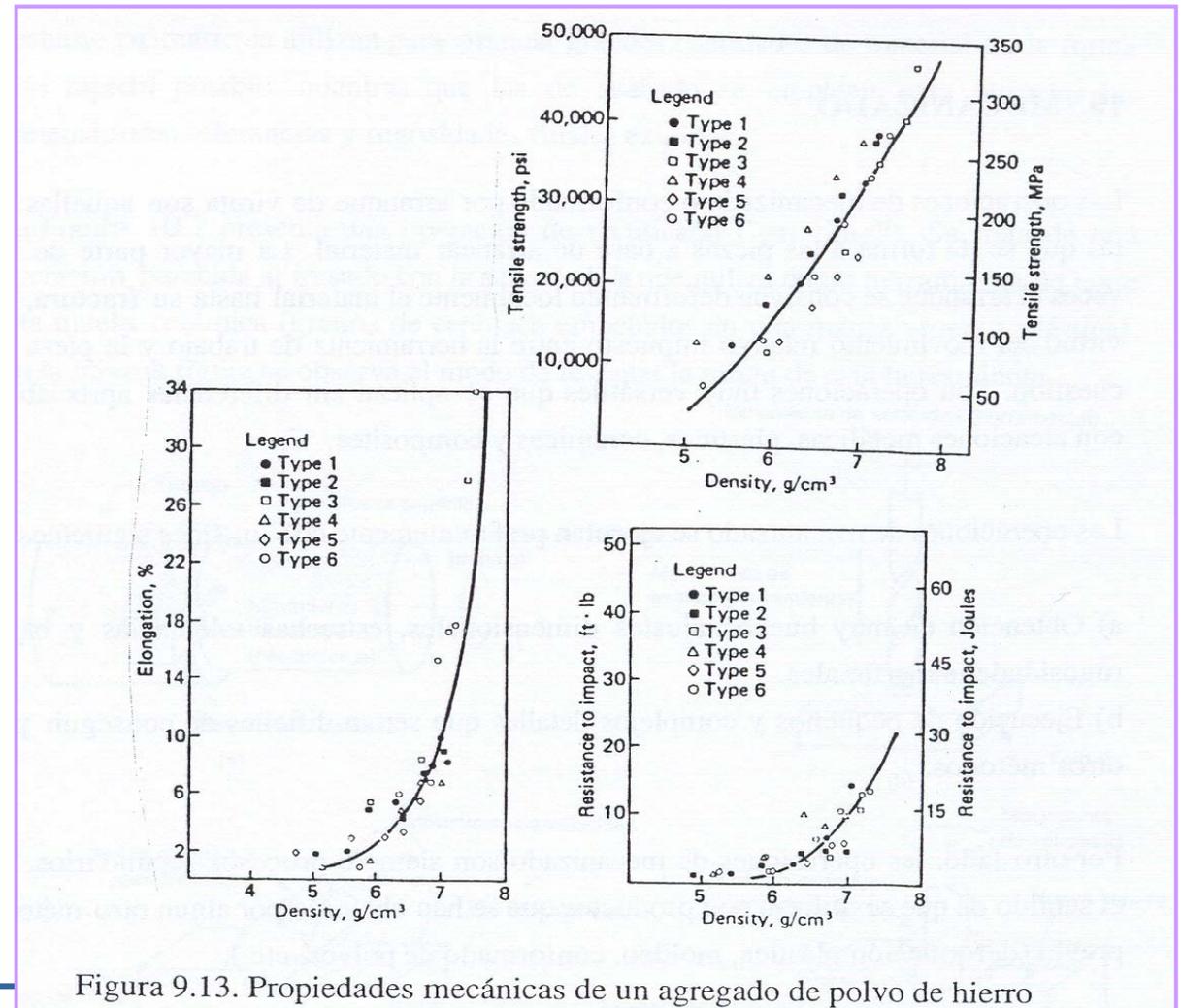


Figura 9.13. Propiedades mecánicas de un agregado de polvo de hierro

Conformado superplástico

Algunas aleaciones son capaces de experimentar un comportamiento superplástico dentro de un cierto rango de temperaturas y velocidades de deformación. La superplasticidad se refiere a la capacidad del material de desarrollar deformaciones permanentes muy grandes sin romperse. Esto permite fabricar piezas de formas complejas a través de un proceso continuo de deformación.



Formación de rosca
de una bombilla



Fabricación de una
pieza aeronáutica

Descomposición Isotérmica de la Austenita, A

La austenita, Fe- γ se transforma en:

- Perlita (láminas paralelas)
- Bainita, (agujas muy finas (plumas de pájaro))
- Martensita (Sol. Sól sobresaturada de C en Fe- α)

⇒ Perlita fina, normal y gruesa es f(veloc. de enfriamiento)

⇒ Trostita: perlita muy, muy fina; formas nodulares en bordes de grano austenítico,
↑↑↑veloc. enfriamiento

- TRANSFORMACIÓN PERLÍTICA: $A \rightarrow P$ (o $P+F$, o $P+C$) ⇒ enfriamiento lento
- TRANSFORMACIÓN BAINÍTICA: $A \rightarrow$ bainita ⇒ enfriamiento rápido
- TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA: $A \rightarrow$ martensita ⇒ enfriamiento muy muy rápido. Transformación atérmica, ya que no sigue el diagrama de equilibrio (SIN DIFUSIÓN)

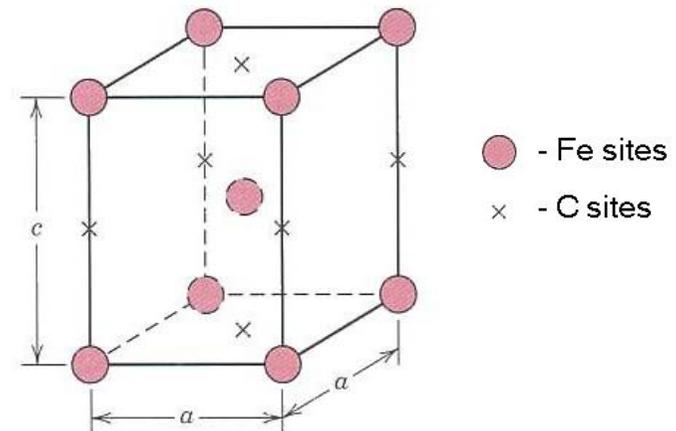
Transformación: Austenita \Rightarrow Martensita

(Enfriamiento muy, muy rápido en agua (TEMPLE). No existe difusión, C "atrapado")

Fase metaestable (no aparece en los diagramas de fase): Sol. Sol intersticial sobresaturada de carbono en hierro BCC o hierro tetragonal centrado en el cuerpo (BCT)

Si %C < 0.2 \Rightarrow Estruct. Cúbica (BCC)

Si %C > 0.2 \Rightarrow Estruct. Tetragonal (BCT)



Distorsión tetragonal: causante de maclas y dislocaciones \Rightarrow mayor dureza
(al \uparrow %C \Rightarrow \uparrow distorsión \Rightarrow \uparrow maclas y dislocaciones \Rightarrow $\uparrow\uparrow\uparrow$ dureza y $\uparrow\uparrow\uparrow$ fragilidad)