

ACEROS PARA HERRAMIENTAS

Clasificación del acero

- Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales:
 - aceros al carbono
 - aceros aleados
 - aceros de baja aleación ultrarresistentes
 - aceros inoxidable
 - aceros de herramientas

Clasificación de los aceros aleados

Serie (x x x x) S.A.E. – A.I.S.I.

Nº de la serie

% de carbono

% del elemento aleación

Aceros para Herramientas

En este grupo se incluyen teóricamente todos los aceros que pueden emplearse para la fabricación de herramientas.

Sin embargo, en la práctica, la aplicación de este término queda limitada a los aceros especiales de gran calidad utilizados en la fabricación de útiles o herramientas destinados a trabajar los materiales por corte o por presión.

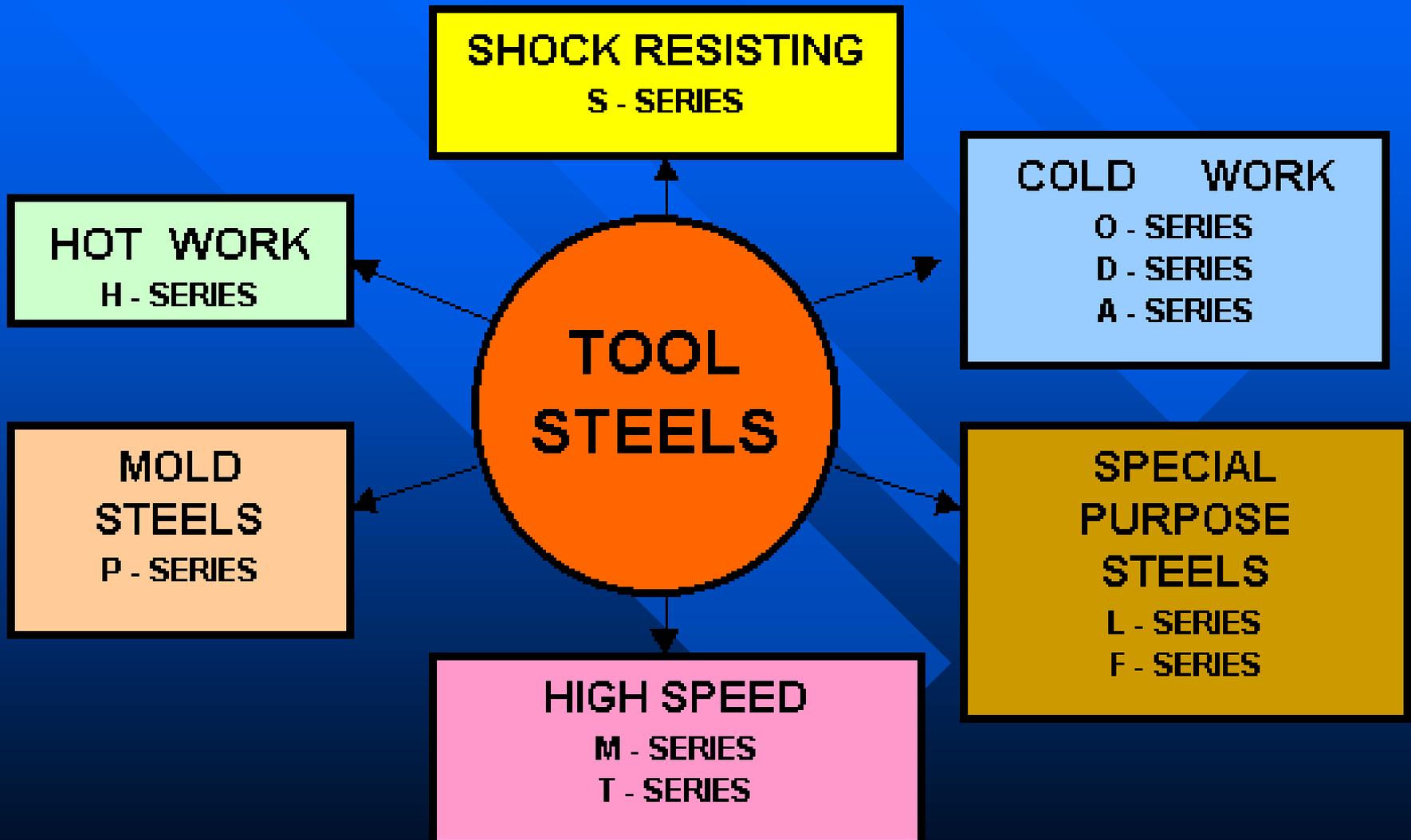
Clasificación de los aceros para herramientas

- Métodos de clasificación :
 - Según el medio de temple que se usen (agua, aceite y aire).
 - El contenido de la aleación (aceros al carbono, aceros de baja y media aleación).
 - basado en el empleo del acero para herramientas (trabajo en caliente, resistentes al impacto, alta velocidad y trabajo en frío).

Método de clasificación AISI

GRUPO	SÍMBOLO Y TIPO
Templados en agua	W
Resistentes al impacto	S
Trabajo en frío	O Templable en aceite A Mediana aleación y templable en aire D Alto carbono, alto cromo
Trabajo en caliente	H (H1-H19, incluso, base cromo; H20-H-39, incluso, base tungsteno; H-40-H59, incluso, base molibdeno)
Alta velocidad	T Base tungsteno M Base molibdeno
Moldes	P Aceros para moldes (P1-P19, incluso, bajo carbono; P20-P39, incluso, otros tipos)
Propósitos específicos	L Baja aleación F Carbono-tungsteno

Método de clasificación AISI



ELEMENTOS DE IDENTIFICACIÓN, PORCENTAJE

Tipo	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
------	---	----	----	----	----	---	---	----	----	----

SÍMBOLO D, TIPOS ALTO CARBONO, ALTO CROMO

D2	1.50	...	...	12.00	...	...	...	1.00		
D3	2.25	...	...	12.00	...	...	...	1.00		
D4	2.25	...	...	12.00	...	...	...	1.00		
D5	1.50	...	...	12.00	...	...	...	1.00	3.00	
D7	2.35	...	...	12.00	...	4.00	...	1.00		

ACEROS PARA HERRAMIENTA PARA TRABAJO EN CALIENTE

SÍMBOLO H

H1-H19, INCLUSO TIPOS BASE CROMO

H10	0.40	...	...	3.25	...	0.40	...	2.50		
H11	0.35	...	...	5.00	...	0.40	...	1.50		
H12	0.35	...	...	5.00	...	0.40	1.50	1.50		
H13	0.35	...	...	5.00	...	1.00	...	1.50		
H14	0.40	...	...	5.00	...	...	5.00	...		
H19	0.40	...	...	4.25	...	2.00	4.25	...	4.25	

H20-H39, INCLUSO TIPOS BASE TUNGSTENO (H27-H39 NO DESIGNADOS)

H21	0.35	...	...	3.50	...	...	9.00			
H22	0.35	...	...	2.00	...	...	11.00			
H23	0.30	...	...	12.00	...	...	12.00			
H24	0.45	...	...	3.00	...	...	15.00			
H25	0.25	...	...	4.00	...	...	15.00			
H26	0.50	...	...	4.00	...	1.00	18.00			

H40-H59, INCLUSO TIPOS BASE MOLIBDENO (H40, H44-H59 NO DESIGNADOS)

H41	0.65	...	...	4.00	...	1.00	1.50	8.00		
H42	0.60	...	...	4.00	...	2.00	6.00	5.00		
H43	0.55	...	...	4.00	...	2.00	...	8.00		

Selección de los aceros para herramientas

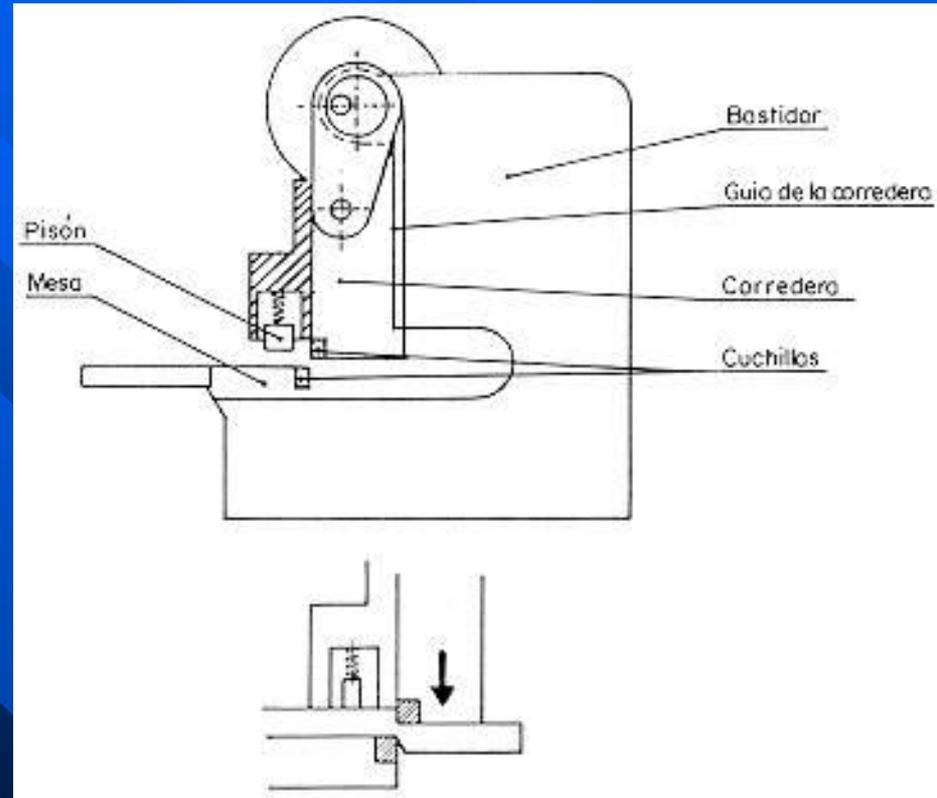
- Se debe correlacionar las características metalúrgicas de los aceros para herramientas con los requisitos del acero en funcionamiento.
- La selección no se limita a un solo tipo o a una serie particular (se debe considerar: la productividad espada, facilidad de fabricación y el costo)
- La mayoría de estos aceros pueden dividirse en **tipos de operación**: corte, cizallado, formado, estirado, extracción y laminado.

Corte

- Si la principal función del acero es cortar debe tener alta dureza, buena resistencia al calor y al desgaste.
- Una herramienta de corte puede tener:
 - un borde de corte en continuo
 - dos o más bordes de corte en continuo
 - tener cierto N° de bordes de cortes, haciendo cada uno cortes breves y funcionando solo parte del tiempo.

Cizalla (punzones o matrices)

- Requieren alta resistencia al desgaste y tenacidad regular.
- Estas características dependen del diseño de la herramienta, del espesor del material que se cortará y de la temperatura de la operación.



Formado

- Se caracterizan por dar su forma a la pieza que se construirá, forzando el metal sólido dentro de la impresión de la herramienta caliente o fría.

Deben tener alta tenacidad y gran resistencia en general, pero pueden requerir alta resistencia al rojo (resistencia al suavizamiento por calor).

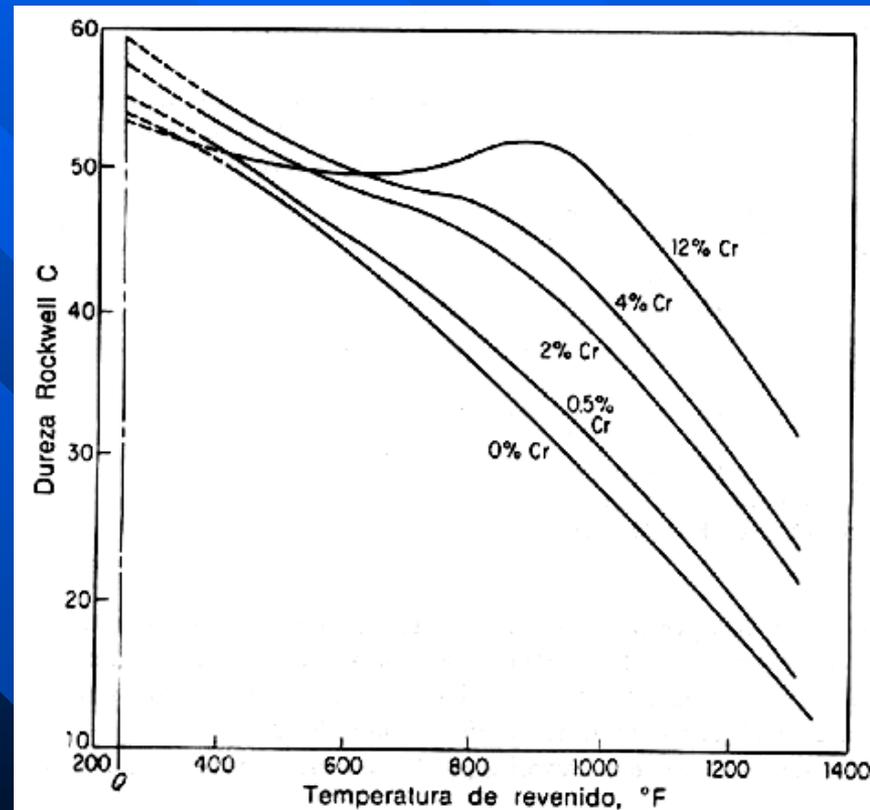


Fig. 9.5 Suavizamiento, con aumento de la temperatura de revenido, de aceros templados al 0.35% de carbono influidos por el contenido de cromo. (To-

Estirado y extrusión

Se caracterizan por un resbalamiento sustancial entre el metal que se forma y la herramienta.

- Requieren gran resistencia en general y alta resistencia al desgaste.
- Extrusión en frío: alta tenacidad y gran resistencia al desgaste.
- Extrusión en caliente: Tenacidad, resistencia y alta dureza al rojo.

Factores a tener en cuenta en la elección de aceros para herramientas

Factores a tener en cuenta

- La dureza, resistencia al desgaste y la dureza al rojo son los factores mas importantes al escoger aceros para herramientas.
- En aplicaciones individuales deben considerarse seriamente muchos otros factores:
 - Propiedades no deformadoras
 - Templabilidad
 - Tenacidad
 - Resistencia al desgaste
 - Dureza al rojo

- Propiedades no deformadoras : (Los aceros se expanden y se contraen durante el calentamiento y el templado).
 - Las herramientas diseñadas deben mantener su forma después del templado, los aceros óptimos en las propiedades de no deformación pueden maquinarse muy próximamente al tamaño antes del TT.
- Templabilidad:

La templabilidad aumenta al incrementar el contenido de aleación. El único elemento que disminuye la templabilidad es el cobalto.

■ Tenacidad:

- Significa la capacidad para resistir a la rotura, en vez de la capacidad para absorber energía durante la deformación.
- Una ligera deformación plástica hace que no pueda emplearse la herramienta.
- Los grupos *S* y *H* (acero aleados de baja y media aleación) forman la base de los aceros resistentes al impacto, tienen un endurecimiento poco profundo y un núcleo relativamente suave.

■ Resistencia al desgaste :

- Todos los aceros para herramientas tienen buena resistencia al desgaste. La resistencia al desgaste se puede definir como la resistencia a la abrasión.

- Existe una correlación entre las partículas duras de carburo no disueltas y la resistencia al desgaste.

■ Dureza al rojo:

- Esta relacionada con la resistencia del acero al suavizamiento producido por el calor. Una buena dureza al rojo es esencial cuando la Temp. a la que deben trabajar excede los 500°C . (aceros que contienen grandes cantidades de W, Cr y Mo)

■ Resistencia a la descarburización:

Ocurre cuando los aceros se calientan a temperaturas superiores a 1300°F, esto hace que pierda carbono superficial y dará como resultado una superficie suave.

Descarburización: pérdida de carbono superficial como resultado de calentar en un medio que reaccioné con el carbono.

TIPO DE ACERO	ENDURECIMIENTO °F	MEDIO DE TEMPLE	INTERVALO DE REVENIDO, °F	DUREZA ROCKWELL C APROXIMADA†	TEMPLABILIDAD
W1	1 400-1 550	Salmuera o agua	300-650	65-50	Superficial
W2	1 400-1 550	Salmuera o agua	300-650	65-50	Superficial
S1	1 650-1 800	Aceite	400-1 200	58-40	Media
S5	1 600-1 700	Aceite	350-800	60-50	Media
O1	1 450-1 500	Aceite	300-500	62-57	Media
A2	1 700-1 800	Aire	350-1 000	62-57	Profunda
A4	1 500-1 600	Aire	350-800	62-54	Profunda
D2	1 800-1 975	Aire	400-1 000	61-54	Profunda
D3	1 700-1 800	Aceite	400-1 000	61-54	Profunda
D4	1 775-1 850	Aire	400-1 000	61-54	Profunda
H11	1 825-1 875	Aire	1 000-1 200	54-38	Profunda
H19	2 000-2 200	Aire o aceite	1 000-1 300	59-40	Profunda
H21	2 000-2 200	Aire o aceite	1 100-1 250	54-36	Profunda
H23	2 200-2 350	Aire o aceite	1 200-1 500	47-30	Profunda
H26	2 150-2 300	Sal, aceite o aire	1 050-1 250	58-43	Profunda
H41	2 000-2 175	Sal, aceite o aire	1 050-1 200	60-50	Profunda
T1	2 300-2 375	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	65-60	Profunda
T4	2 300-2 375	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	66-62	Profunda
T6	2 325-2 400	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	65-60	Profunda
M1	2 150-2 225	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	65-60	Profunda
M2	2 175-2 250	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	65-60	Profunda
M6	2 150-2 200	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	66-61	Profunda
M41	2 175-2 220	Aceite, aire o sal	1 000-1 100	70-65	Profunda
L2	1 450-1 550 1 550-1 700	Agua Aceite	350-1 000	63-45	Media
L6	1 475-1 550	Aceite	350-1 000	62-45	Media
F2	1 450-1 600	Agua o salmuera	300-500	66-62	Superficial
P2	1 525-1 550‡	Aceite	300-500	64-58§	Superficial
P20	1 500-1 600	Aceite	900-1 100	37-28	Superficial

PROPIEDADES DE NO DEFORMACIÓN	SEGURIDAD EN EL ENDURECIMIENTO	TENACIDAD	ENDURECIMIENTO AL ROJO	RESISTENCIA AL DESGASTE	MAQUINABILIDAD	RESISTENCIA A LA DESCARBURIZACIÓN
Deficientes	Regular	Buena	Deficiente	Regular a buena	Óptima	Óptima
Deficientes	Regular	Buena	Deficiente	Regular a buena	Óptima	Óptima
Regulares	Buena	Muy buena	Regular	Regular	Regular	Regular a buena
Regulares	Buena	Óptima	Regular	Regular	Regular	Deficiente
Muy buenas	Muy buena	Regular	Deficiente	Buena	Buena	Buena
Óptimas	Óptima	Regular	Regular	Muy buena	Regular	Regular
Óptimas	Óptima	Regular	Regular	Buena	Regular a deficiente	Buena a regular
Óptimas	Óptima	Deficiente	Buena	Óptima	Deficiente	Regular
Muy buenas	Buena	Deficiente	Buena	Óptima	Deficiente	Regular
Óptimas	Óptima	Deficiente	Buena	Óptima	Deficiente	Regular
Muy buenas	Óptima	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular
Buenas	Buena	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular
Aire: buenas	Buena	Buena	Buena	Regular a buena	Regular	Regular
Aceite: regulares						
Aire: buenas	Buena	Regular	Muy buena	Regular a buena	Regular	Regular
Aceite: regulares						
Sal y aire: buenas	Buena	Regular	Muy buena	Buena	Regular	Regular
Aceite: regulares						
Sal y aire: buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Buena	Regular	Deficiente
Aceite: regulares						
Buenas	Buena	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Buena
Buenas	Regular	Deficiente	Óptima	Muy buena	Regular	Regular
Buenas	Regular	Deficiente	Óptima	Muy buena	Regular	Deficiente
Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Regular
Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
Buenas	Regular	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Regular	Deficiente
Agua: deficientes	Agua: deficiente	Muy buena	Deficiente	Buena	Buena	Buena
Aceite: regulares	Aceite: regular					
Buenas	Buena	Muy buena	Deficiente	Buena	Regular	Buena
Deficientes	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Muy buena	Regular	Buena
Buenas	Buena	Buena	Deficiente	Regular	Regular	Buena
Buenas	Buena	Buena	Deficiente	Regular	Buena	Buena

Grupos de aceros para herramientas mas utilizados

Grupo W

- Templados en agua: esencialmente son aceros al carbono , aunque algunos poseen Cr y V.
 - Entre 0.6 a 0.75 % de C = aplicaciones en la que la tenacidad es la consideración principal.
 - 0.75 a 0.95 % de C = tenacidad y dureza son igualmente importantes.
 - 0.95 a 1.4 de C = resistencia al desgaste (herramientas de carpintería y de torneado)

Grupo S (resistentes al impacto)

- Aplicaciones que requieren alta tenacidad y la capacidad para soportar impactos repetidos
 - Contienen C (0.45 a 0.65 %) , Si (descarburización), Cr y Mo (aumenta la templabilidad), W (Dureza al rojo)
 - Se utilizan en herramientas de formado y en hojas para cizallas.

Trabajo en frío

- Grupo O = Es el grupo mas importante de los aceros para herramientas.
 - Contienen Mn y menores cantidades de Cr y W.
 - Tienen buenas propiedades de no deformación y es menos probable que tengan fisuras durante el TT.
 - Grupo A = Excelentes propiedades de no deformación, resistencia al desgaste y tenacidad regular.
 - Grupo D = 2.25 % de C y 12% de Cr puede tener Mo y V. Utilizados en dados para rosca y para trafilado.

Trabajo en caliente

- Grupo *H* = los aceros para herramientas diseñados para forja, extrusión, piezas fundidas y moldes, tienen buena dureza al rojo.
 - los contenidos de Cr, Mo, y W tienen que ser mayor al 5%.
 - Estos aceros se pueden dividir en:
 - base de Cr (mínimo de 3.25%)
 - base de W (mínimo de 9%)
 - Base de Mo (mínimo de 8%)

Alta velocidad

- Son los mas altamente aleados y contienen grandes cantidades de W o Mo, Cr, V y algunas veces Co.
 - se aplican principalmente en herramientas de corte extrusión, punzones y dados.
 - Se subdividen en grupos:
 - Grupo *M*, base de Mo.
 - Grupo *T*, base de W (18% W - 4% Cr - 1% V es el más utilizado).

Alta velocidad

high speed steel grades (by %wt)

Grade	<u>C</u>	<u>Cr</u>	<u>Mo</u>	<u>W</u>	<u>V</u>	<u>Co</u>	<u>Mn</u>	<u>Si</u>
T1	0.65– 0.80	3.75– 4.00	-	17.25– 18.75	0.9– 1.3	-	0.1– 0.4	0.2– 0.4
M2	0.95	4.2	5.0	6.0	2.0	-	-	-
M7	1.00	3.8	8.7	1.6	2.0	-	-	-
M35	0.94	4.1	5.0	6.0	2.0	5.0	-	-
M42	1.10	3.8	9.5	1.5	1.2	8.0	-	-

AISI-T1

Category	Steel
Class	Tool steel
Type	Tungsten high speed steel
Designations	France: AFNOR 18-04-01 Germany: DIN 1.3355 Italy: UNI X 75 W 18 KU Japan: JIS SKH2 United Kingdom: B.S. BT 1 United States: AMS 5626 , ASTM A600 , FED QQ-T-590 , SAE J437 , SAE J438

- Aceros para molde (grupo *P*)

Se caracteriza por baja dureza y resistencia para endurecimiento por trabajo. Son utilizados para moldes de inyección o moldes de plásticos.

- Acero con fines especiales (grupo *L* y *F*)

Son los mas costosos. Contienen V, Mo, Ni y W. Utilizados en guillotinas, llaves, levas, ejes y dados para estirado de alambres.

Fallas de las herramientas

■ Diseño defectuoso:

- Puede originar fallas en el TT o durante el servicio.

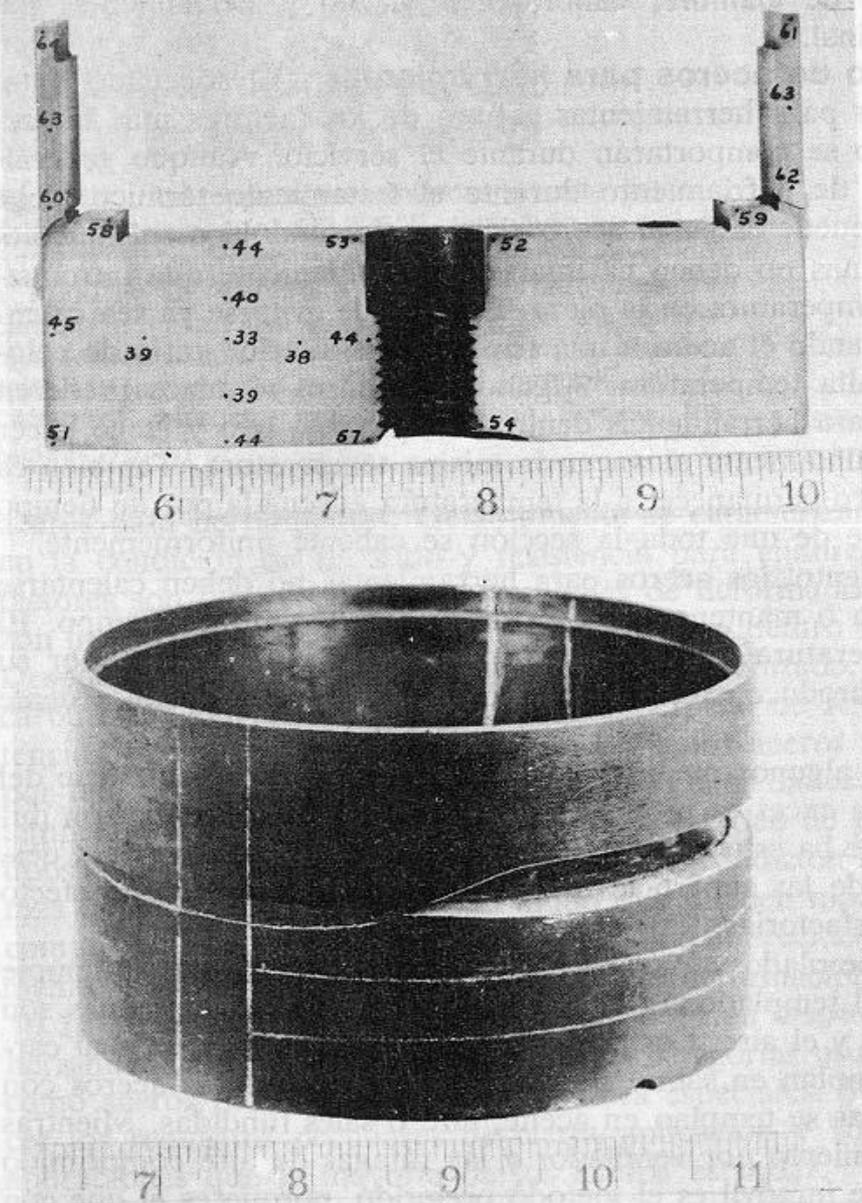


Fig. 10.8 Troquel hecho de acero para herramientas al carbono. La falla ocurrió durante el templeado debido a los excesivos esfuerzos producidos entre el borde delgado y el cuerpo. *Arriba:* sección longitudinal a través del troquel. Los números son valores Rockwell de dureza. (Bethlehem Steel Com-

■ Acero defectuoso :

- Puede haber áreas porosas resultantes del rechupe durante la solidificación del lingote.
- Inclusiones no metálicas que corroen longitudinalmente respecto a la barra.
- Fisuras (superficiales e internas)

originados por el enfriamiento demasiado rápido después de la última operación de forja o laminado.

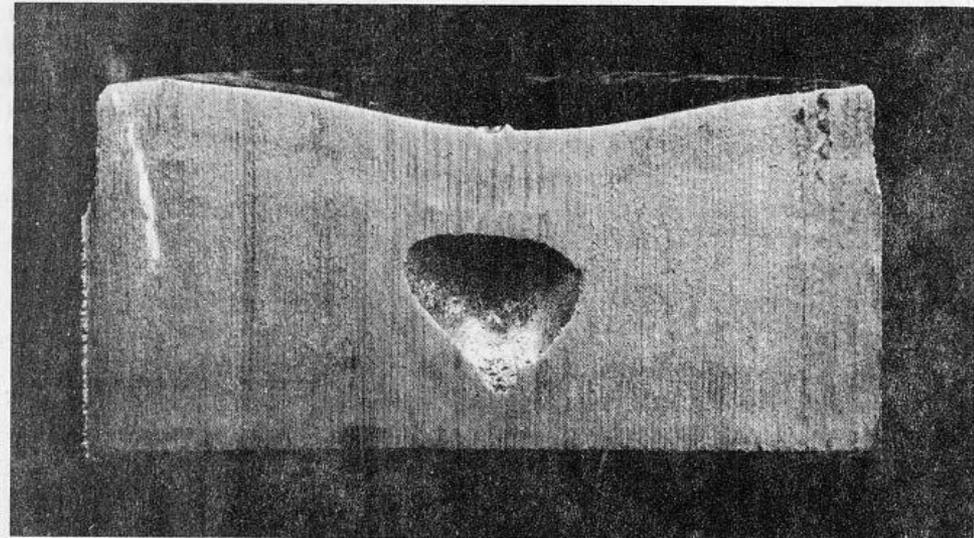


Fig. 2.27 Cavidad por contracción en un lingote de aleación al niobio (columbio). (Fansteel Metallurgical Corporation.)

■ Tratamiento térmico defectuoso:

- Causa la gran mayoría de falla de las herramientas, deben templarse las herramientas desde la Temp. recomendada.
- Utilizar Temp. excesivamente altas produce crecimiento de grano.

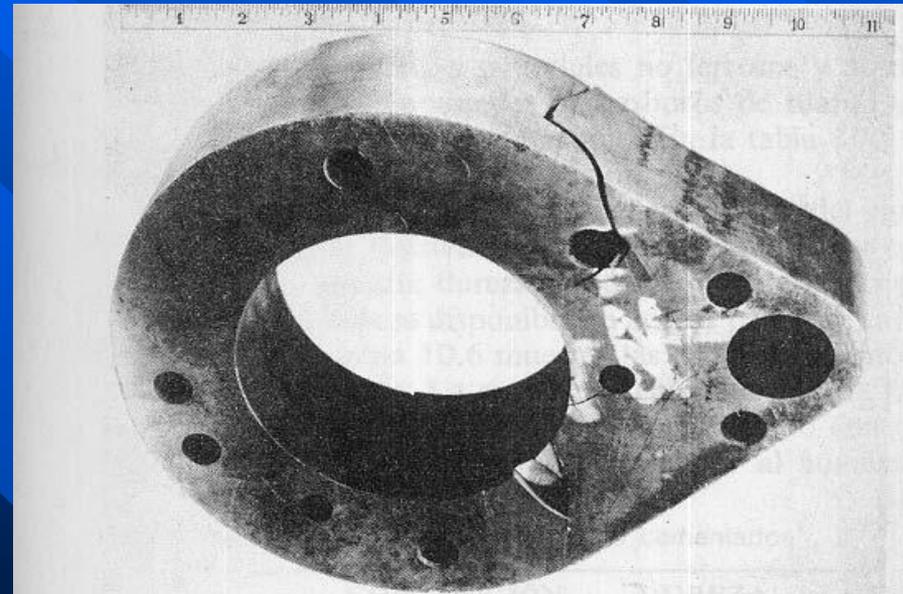


Fig. 10.12 Leva fabricada de acero para herramientas al manganeso endurecible en aceite, la cual tuvo fisuras durante el endurecimiento porque se templó desde una temperatura excesivamente alta. (Bethlehem Steel Company.)

■ Sobrecarga mecánica:

- Los factores mecánicos que producen falla debido a sobrecargas pueden ser accidentales, excesiva concentración de esfuerzos y alineaciones deficientes.



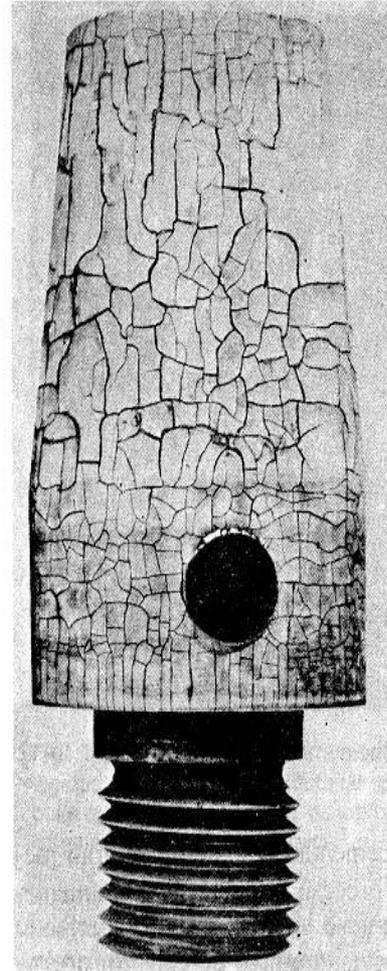


Fig. 10.14 Punta de un punzón, de $3\frac{3}{4}$ pulg de diámetro por $8\frac{3}{4}$ pulg, hecho de acero para herramientas para trabajo en caliente H12. Esta herramienta llegó a ser pegajosa en forjas en caliente varias veces y se calentó a una temperatura mucho mayor que aquella para la cual se diseñó, dando como resultado fisuras por calor. (Bethlehem Steel Company.)

■ Factores de operación:

- Una falla común debida a factores de operación se produce en herramientas para trabajo en caliente, debido al calentamiento y enfriamiento alternado de las mismas, lo cual da como resultado una red de grietas muy finas.

Materiales especiales de corte

Materiales especiales de corte

- Estelitas: son aleaciones de Co-Cr-W (25-35% C, 4-25% W, 1-3% C y el resto de Co) con dureza Rc 40-60.

Propiedades: alta dureza, gran resistencia al desgaste y a la corrosión y excelente dureza al rojo.

Se utilizan en tornos como herramientas de un solo filo, frezo lineas, escariadores, etc.

También se utiliza como material de recubrimiento duro de superficies de pieza sujetas a desgastes de maquinaria para triturar y moler.

Materiales especiales de corte

- Carburos cementados: Están hechos de partículas de carburos muy finamente divididas de los materiales refractarios, sementadas de manera conjunta por un metal o aleación formando un cuerpo de muy alta dureza.

Se obtienen mediante metalurgia de polvos (povos de carburos de W, Ti o Ta mezclados con polvo de Co.)

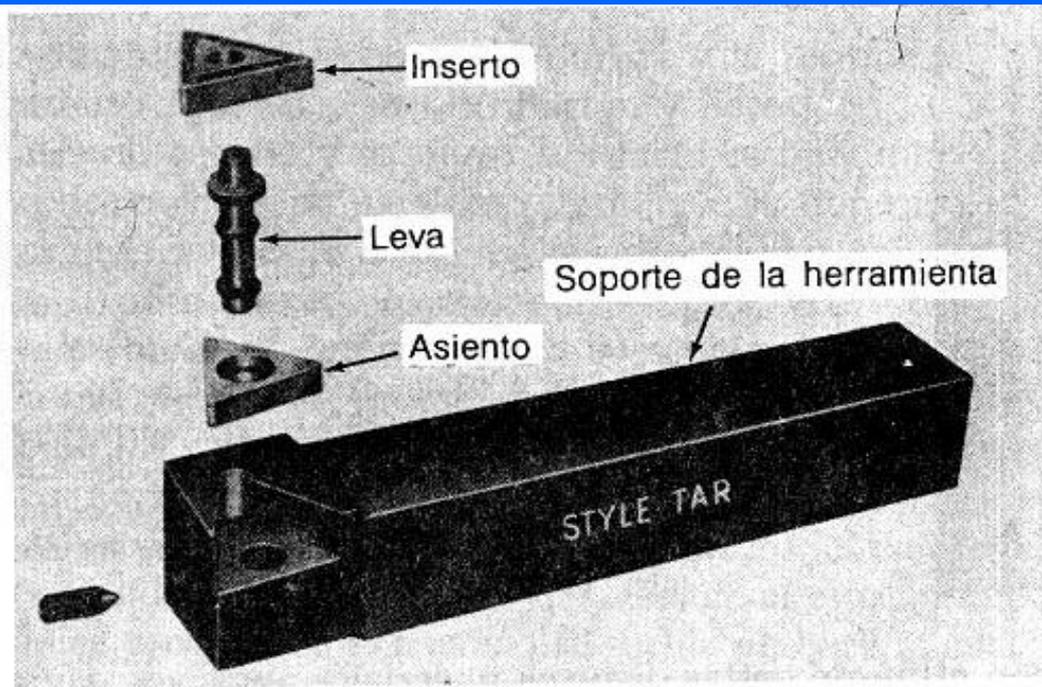
Materiales especiales de corte

- Herramientas cerámicas: la mayoría son fabricadas con óxido de aluminio. La bauxita se procesa y se convierte en alúmina alfa.

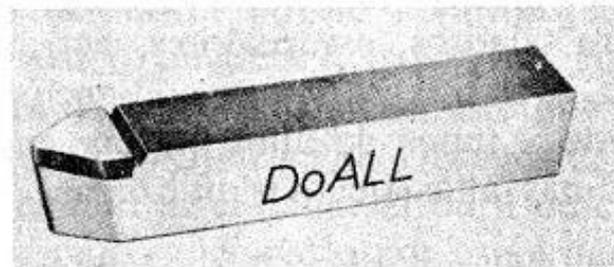
Los insertos de cerámicas se producen mediante presión, el polvo se comprime y luego se sinteriza entre 1600 a 1700 °C.

Sus propiedades son alta dureza y resistencia al desgaste.

Se utilizan para maquinar aceros endurecidos a altas velocidades de corte obteniendo un buen acabado superficial.



(a)



(b)

Fig. 10.16 Herramientas de carburo: a) soporte mecánico, y b) herramienta soldada. (Cortesía de la DoALL Company.)



TABLA 6.1 Ejemplos de Conformación Total (CT)

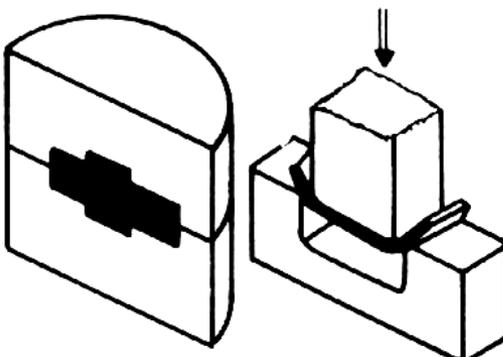
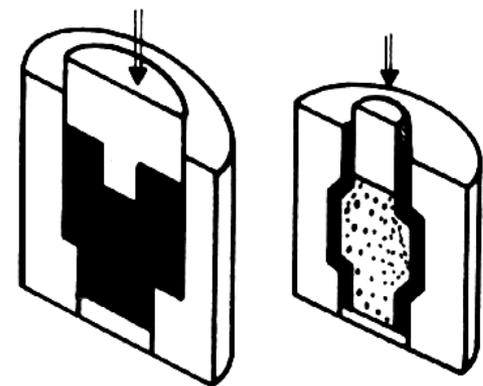
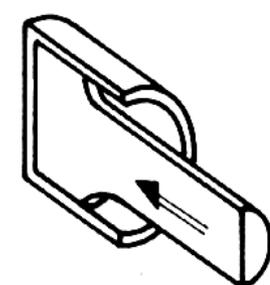
Patrón de movimientos		Conformación total	Ejemplos de procesos
Pieza de trabajo	Herramienta		
T			Forja Doblado
			Forja por impacto Abocardado de tubos
T			Recalcado

TABLA 6.2 Ejemplos de Conformación Unidimensional (CU)

Patrón de movimientos

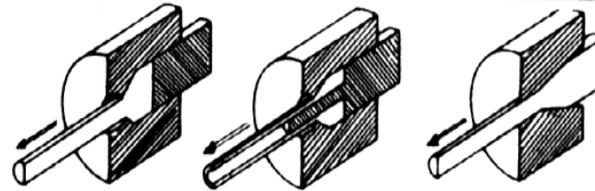
Pieza de trabajo

Herramienta

Conformación unidimensional

Ejemplos de procesos

T



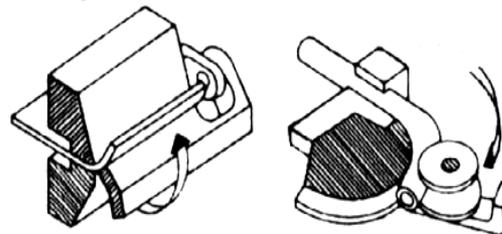
Extrusión directa
Trefilado

T



Extrusión indirecta
Embutición

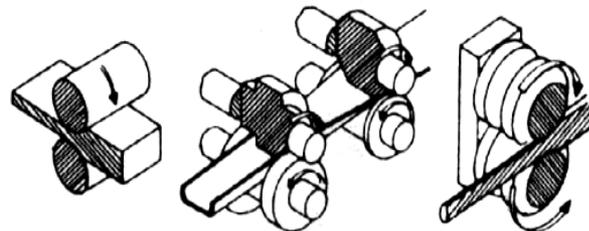
R



Doblado de chapa y tubo

T

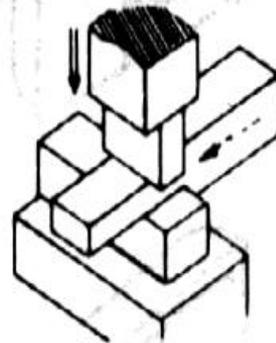
R



Laminación

T

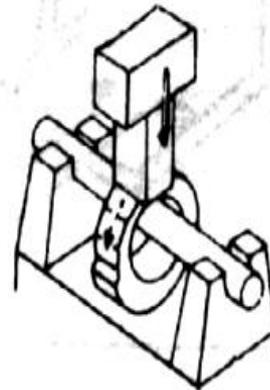
T



Forja de
barras

R

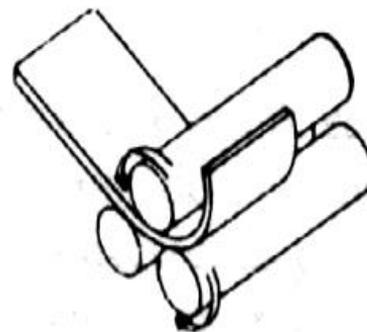
T



Forja de
anillos

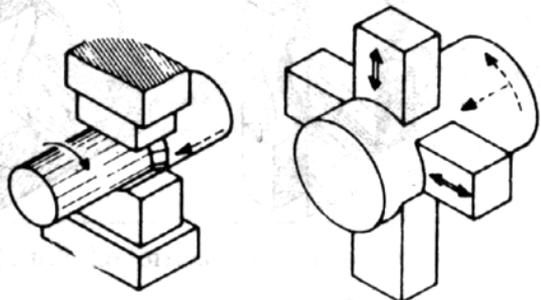
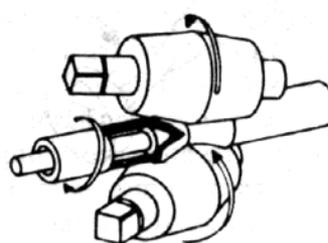
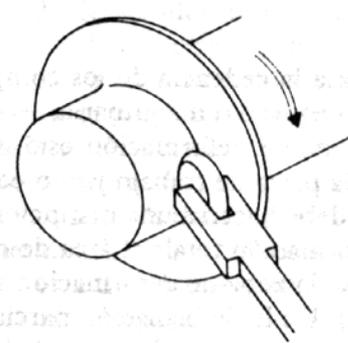
R

R



Doblado por
rodillos

TABLA 6.3 Ejemplos de Conformación Bidimensional (CB)

Patrón de movimientos				
Pieza de trabajo	Herramienta	Conformación bidimensional		Ejemplos de procesos
T/R	T			<p>Forja de barras</p> <p>Estampado</p>
R/T	R			<p>Laminación de tubos</p>
R	T			<p>Repujado</p>

Patrón de movimientos

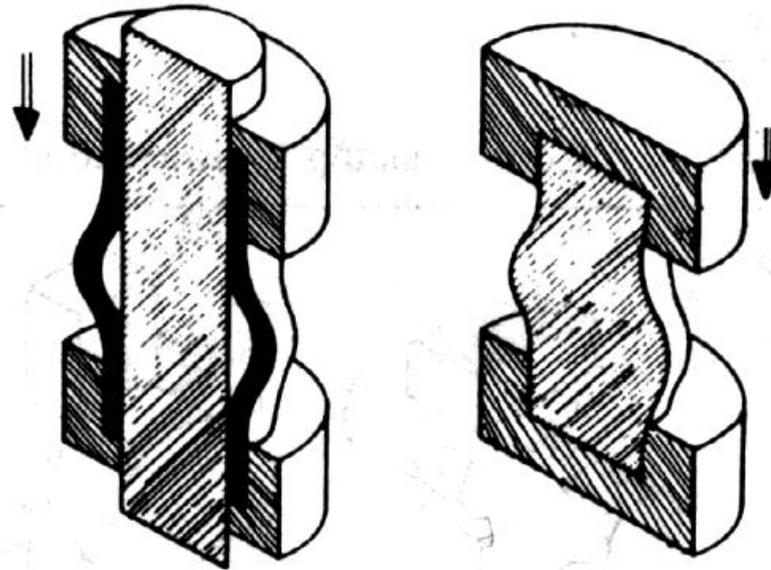
Pieza de trabajo

Herramienta

Conformación Libre

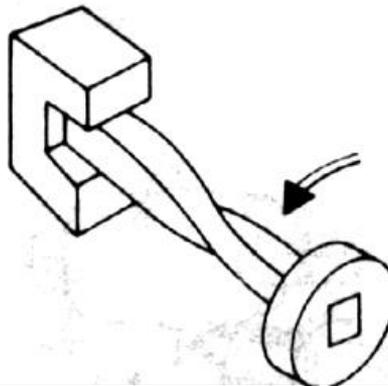
Ejemplos de procesos

T



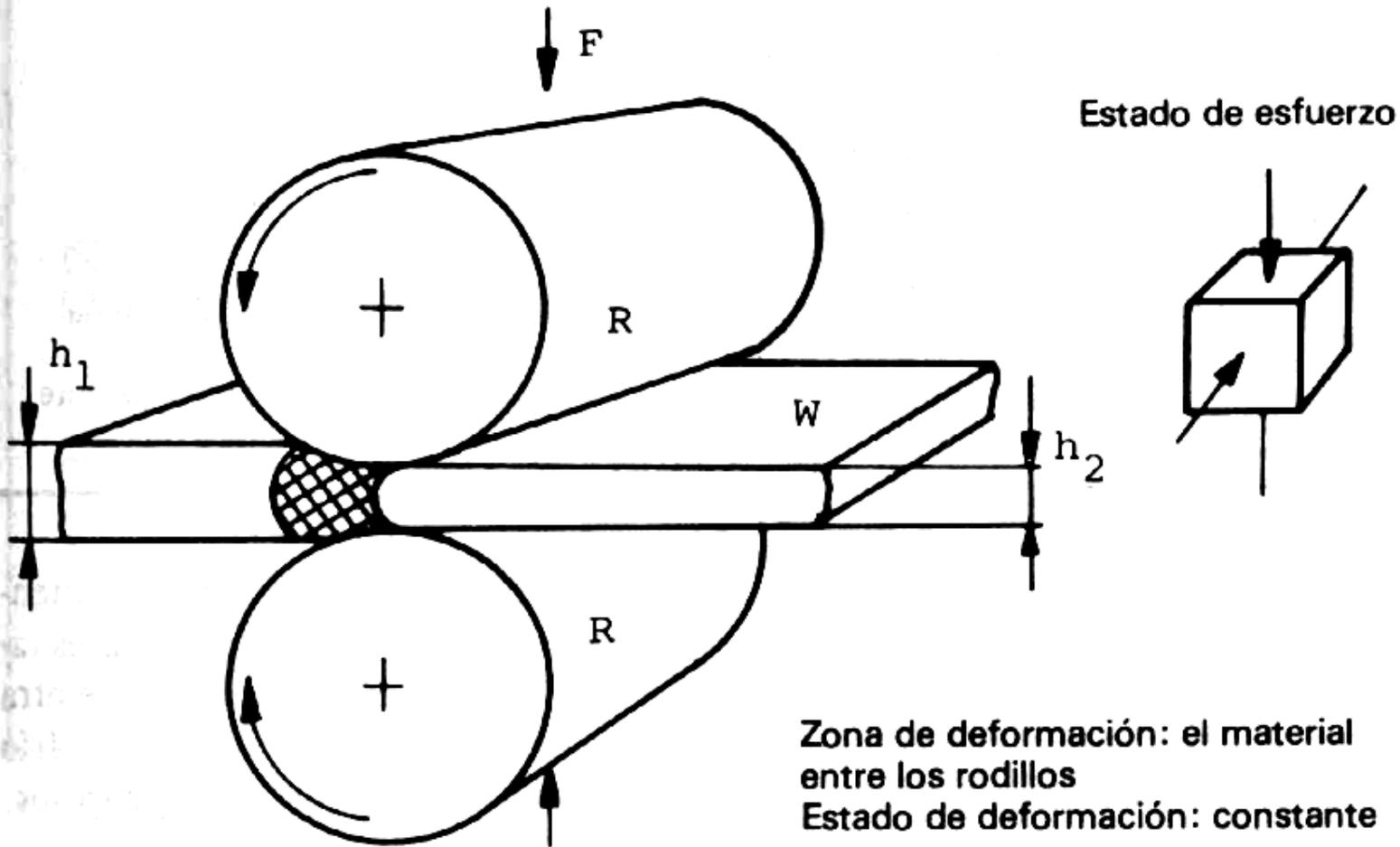
Recalado

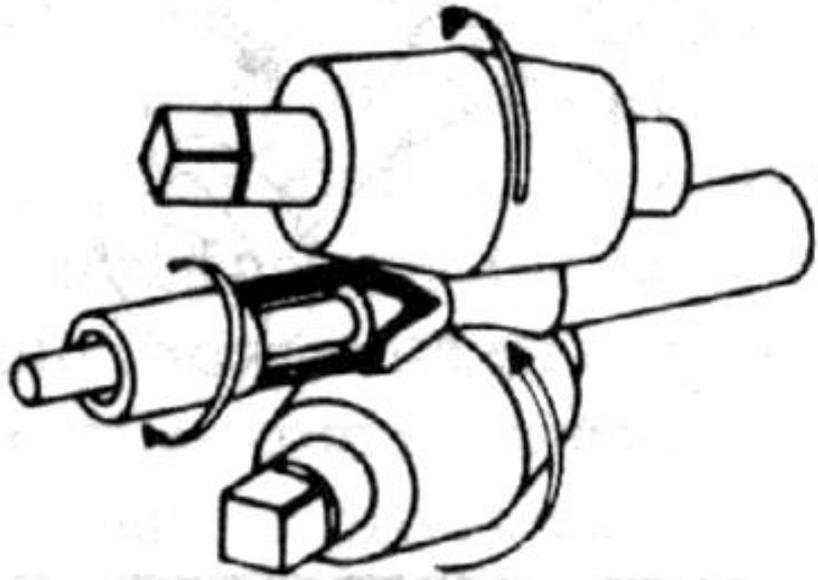
R



Torsión

LAMINACION

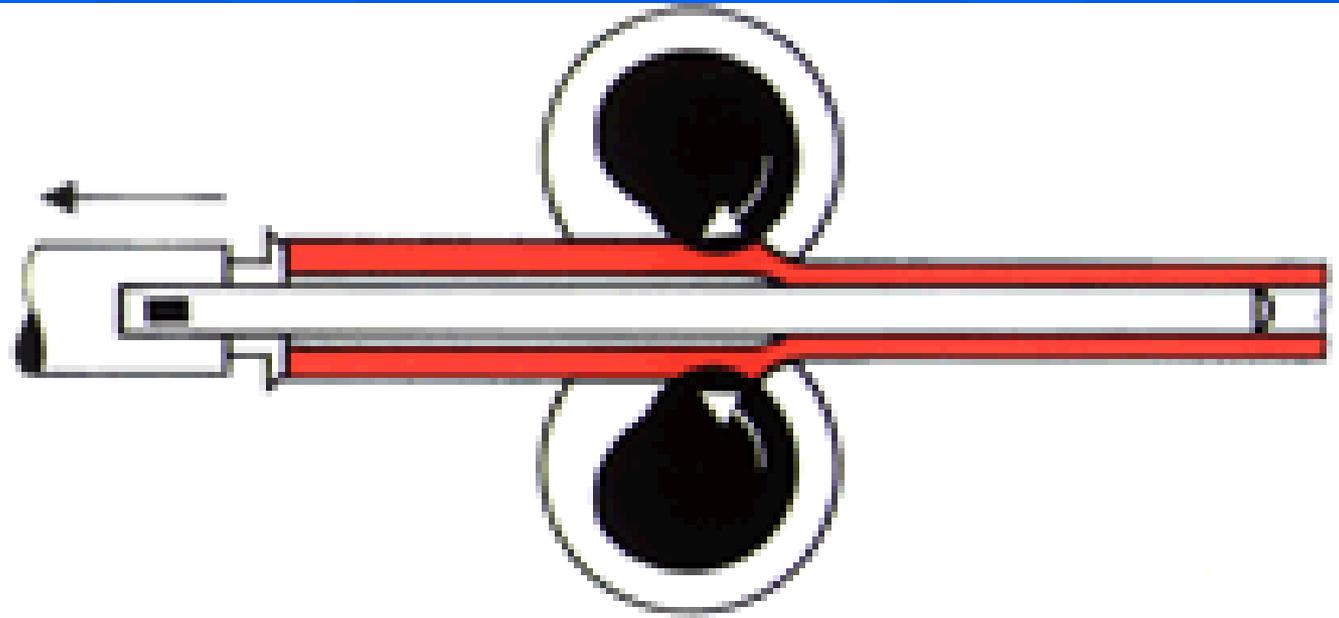




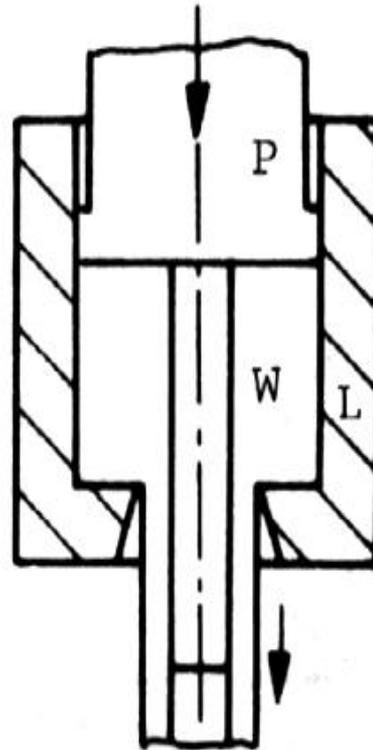
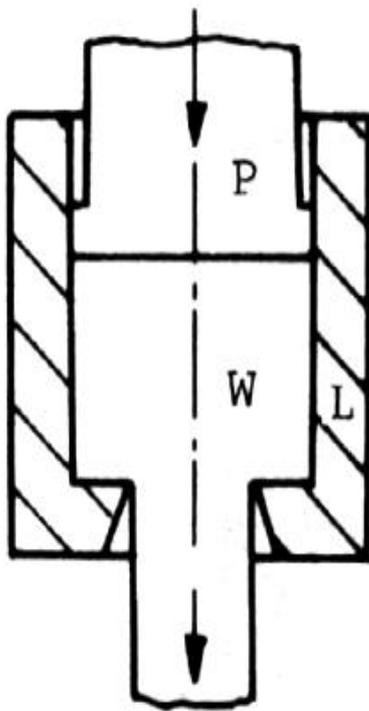
LAMINACION DE TUBOS



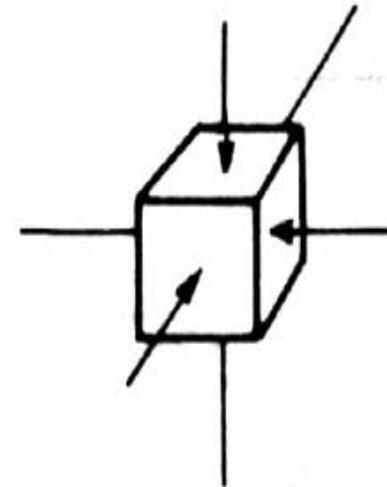
LAMINACION DE TUBOS



EXTRUSION HACIA ADELANTE

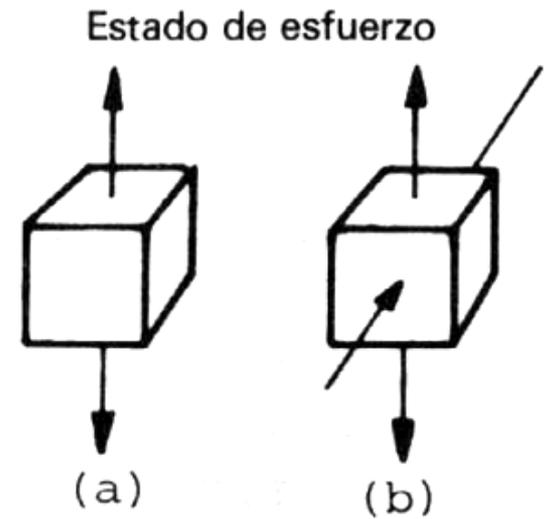
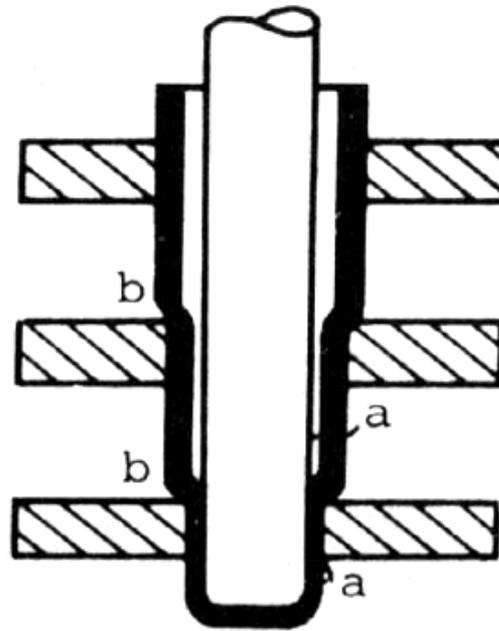
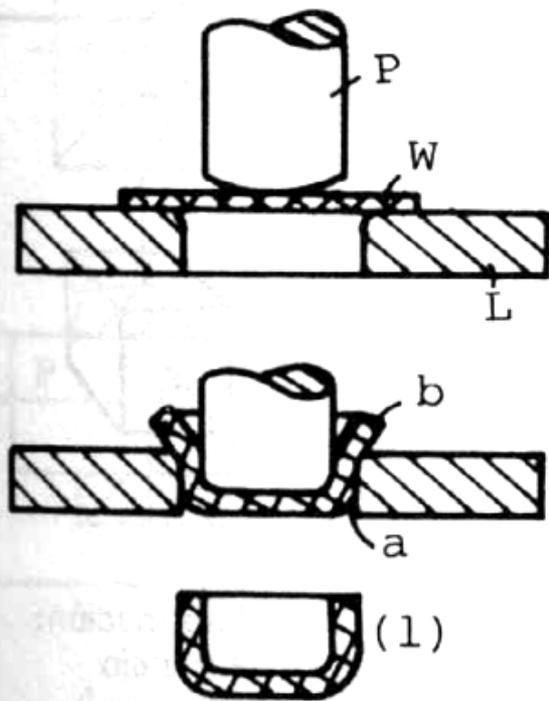


Estado de esfuerzo



Zona de deformación: el material cercano al orificio
Estado de deformación: constante

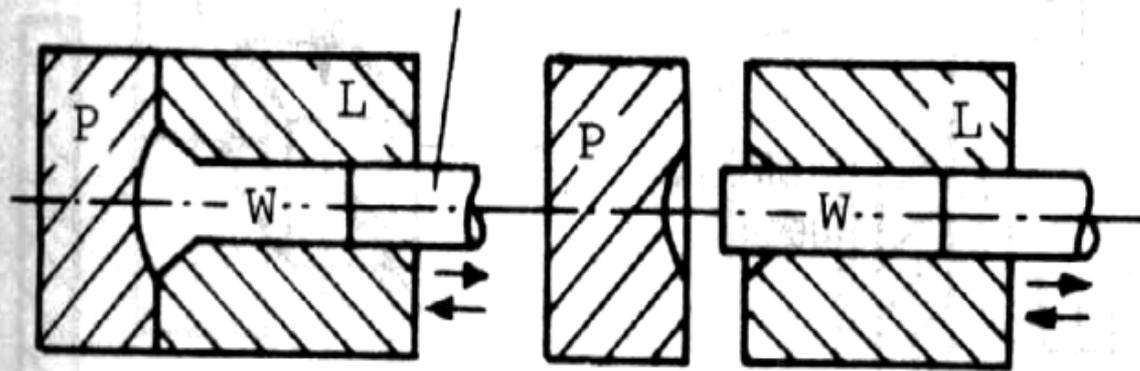
ESTIRADO EN CALIENTE (alta temperatura)



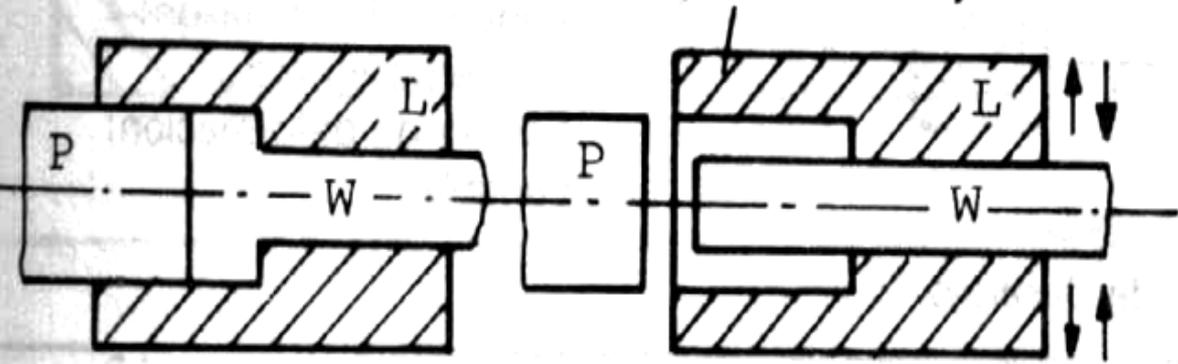
Zona de deformación: el material situado en la entrada de la matriz
Estado de deformación: constante

FORJA POR RECALCADO

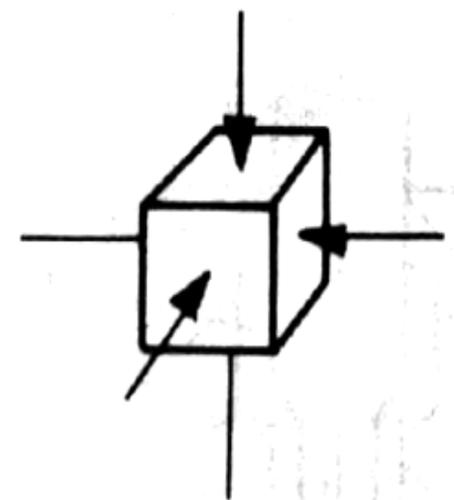
Perno de desalojo



Matriz partida (de sujeción)

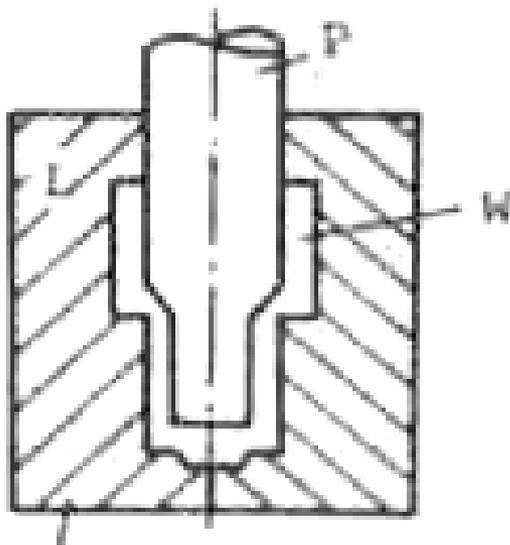


Estado de esfuerzo

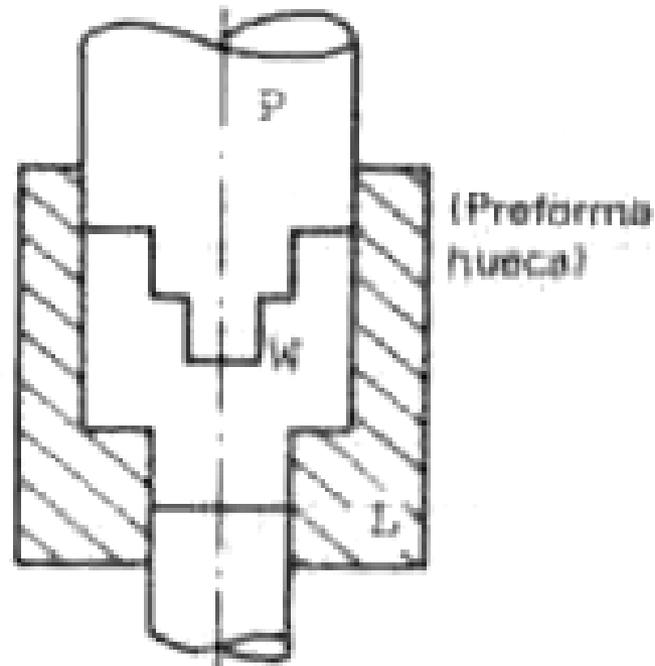


Zona de deformación: el material no apoyado
Estado de deformación: variable

FORJA EN FRIO



Matriz partida



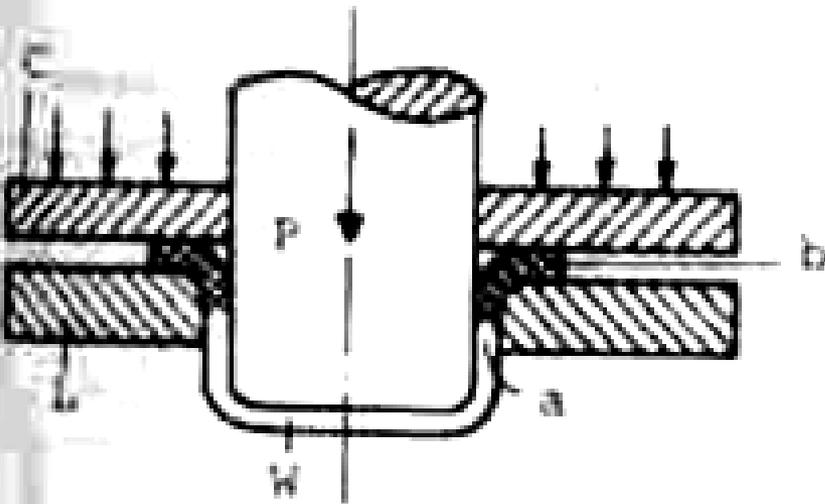
(Preforma hueca)

Perno de desalajo

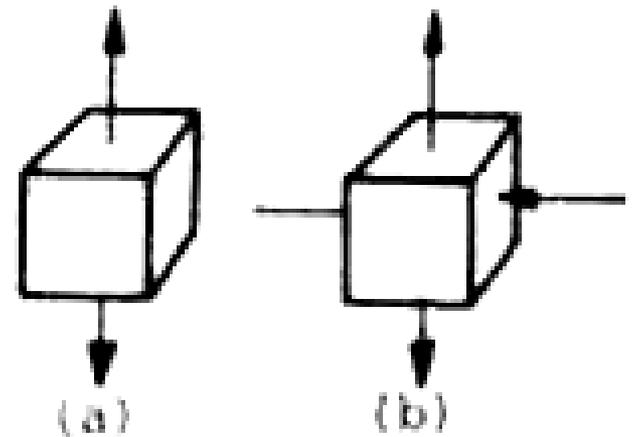


Zona de deformación:
el cuerpo entero
Estado de deformación:
variable

EMBUTICIÓN

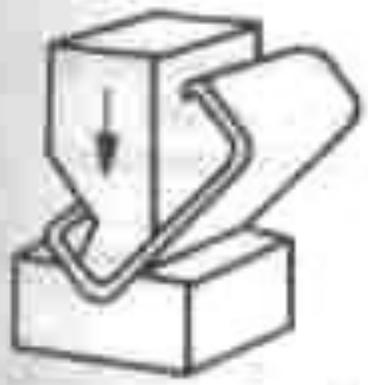
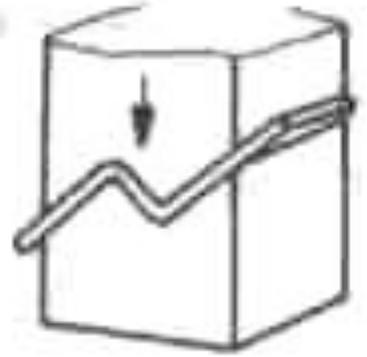


Estado de esfuerzo



Zona de deformación: la brida
Estado de deformación: variable

DOBLADO (PLEGADO)



Estado de esfuerzo

Flexión

Zona de deformación:
el material situado ante el radio
de curvatura
Estado de deformación:
variable