



MÓDULO II: CONFORMADO PLÁSTICO DE METALES

TEMA 4: Aspectos generales

TECNOLOGÍA MECÁNICA

DPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea



- 1. Procesos y productos**
- 2. Comportamiento del material en régimen plástico**
- 3. Conformado en frío y en caliente**
- 4. Cuestionario tutorizado**



1. Procesos y productos



Componentes obtenidos por DEFORMACIÓN PLÁSTICA (permanente)

- **Largas tiradas de componentes idénticos o de productos normalizados.**
- **Excelentes propiedades mecánicas e integridad metalúrgica.**
- **Elevada productividad (piezas/hora)**
- **LIMITACIONES:**
 - **Alto coste de utillajes y medios de producción (tiradas largas).**
 - **Precisión (detalles, tolerancias y rugosidad) LIMITADA, si se trabaja EN CALIENTE requiere MECANIZADO posterior.**
 - **No todos los materiales se deforman fácilmente (p.e., problemas con inoxidables, aceros de alto contenido en carbono o aleados, etc.)**
- **PROCESOS:**
 - **FORJA.**
 - **Conformado de CHAPA.**
 - **Procesos continuos y semicontinuos: LAMINACIÓN, EXTRUSIÓN, ESTIRADO.**



Cigüeñal forjado y estampa

Árboles de levas y ejes forjados





1. Procesos y productos



Componentes obtenidos por DEFORMACIÓN PLÁSTICA (permanente)

- **Largas tiradas de componentes idénticos o de productos normalizados.**
- **Excelentes propiedades mecánicas e integridad metalúrgica.**
- **Elevada productividad (piezas/hora)**
- **LIMITACIONES:**
 - **Alto coste de utillajes y medios de producción (tiradas largas).**
 - **Precisión (detalles, tolerancias y rugosidad) LIMITADA, si se trabaja EN CALIENTE requiere MECANIZADO posterior.**
 - **No todos los materiales se deforman fácilmente (p.e., problemas con inoxidables, aceros de alto contenido en carbono o aleados, etc.)**
- **PROCESOS:**
 - **FORJA.**
 - **Conformado de CHAPA.**
 - **Procesos continuos y semicontinuos: LAMINACIÓN, EXTRUSIÓN, ESTIRADO.**

Implante forjado para industria BIOMÉDICA



Rótor de turbina forjado

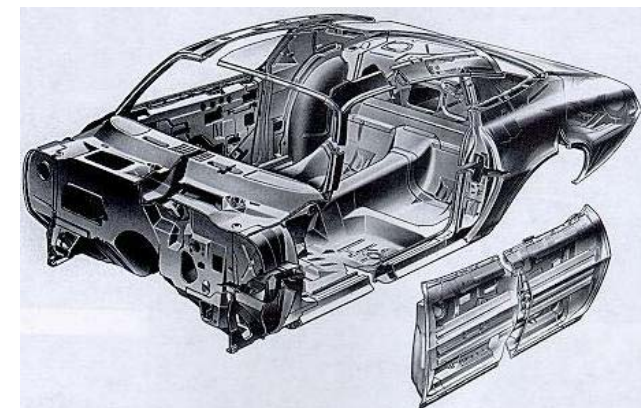
Componentes obtenidos por DEFORMACIÓN PLÁSTICA (permanente)

- **Largas tiradas de componentes idénticos o de productos normalizados.**
- **Excelentes propiedades mecánicas e integridad metalúrgica.**
- **Elevada productividad (piezas/hora)**
- **LIMITACIONES:**
 - **Alto coste de utillajes y medios de producción (tiradas largas).**
 - **Precisión (detalles, tolerancias y rugosidad) LIMITADA, si se trabaja EN CALIENTE requiere MECANIZADO posterior.**
 - **No todos los materiales se deforman fácilmente (p.e., problemas con inoxidables, aceros de alto contenido en carbono o aleados, etc.)**
- **PROCESOS:**
 - **FORJA.**
 - **Conformado de CHAPA.**
 - **Procesos continuos y semicontinuos: LAMINACIÓN, EXTRUSIÓN, ESTIRADO.**

Componentes en chapa del cohete DELTA III



Numerosos elementos del automóvil se fabrican en chapa





1. Procesos y productos



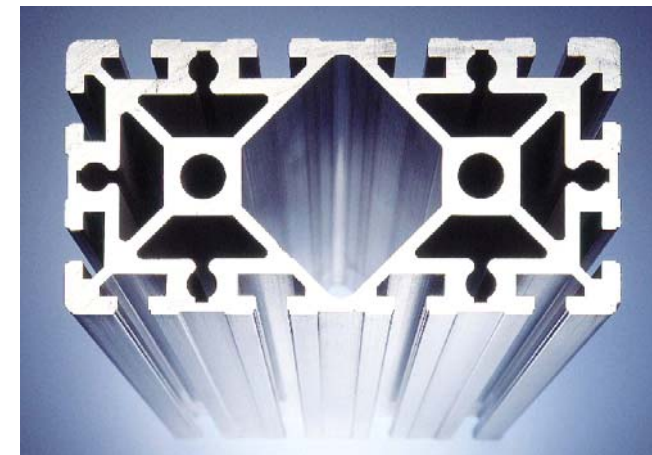
Componentes obtenidos por DEFORMACIÓN PLÁSTICA (permanente)

- **Largas tiradas de componentes idénticos o de productos normalizados.**
- **Excelentes propiedades mecánicas e integridad metalúrgica.**
- **Elevada productividad (piezas/hora)**
- **LIMITACIONES:**
 - **Alto coste de utillajes y medios de producción (tiradas largas).**
 - **Precisión (detalles, tolerancias y rugosidad) LIMITADA, si se trabaja EN CALIENTE requiere MECANIZADO posterior.**
 - **No todos los materiales se deforman fácilmente (p.e., problemas con inoxidable, aceros de alto contenido en carbono o aleados, etc.)**
- **PROCESOS:**
 - **FORJA.**
 - **Conformado de CHAPA.**
 - **Procesos continuos y semicontinuos: LAMINACIÓN, EXTRUSIÓN, ESTIRADO.**

Laminación de perfil estructural



Perfil extruído





2. Comportamiento del material en régimen plástico



CONCEPTOS BÁSICOS DE DEFORMACIÓN

- DEFORMACIÓN

$$e = \frac{h_1 - h_0}{h_0} = \frac{A_0 - A_1}{A_1}$$

- DEFORMACIÓN VERDADERA

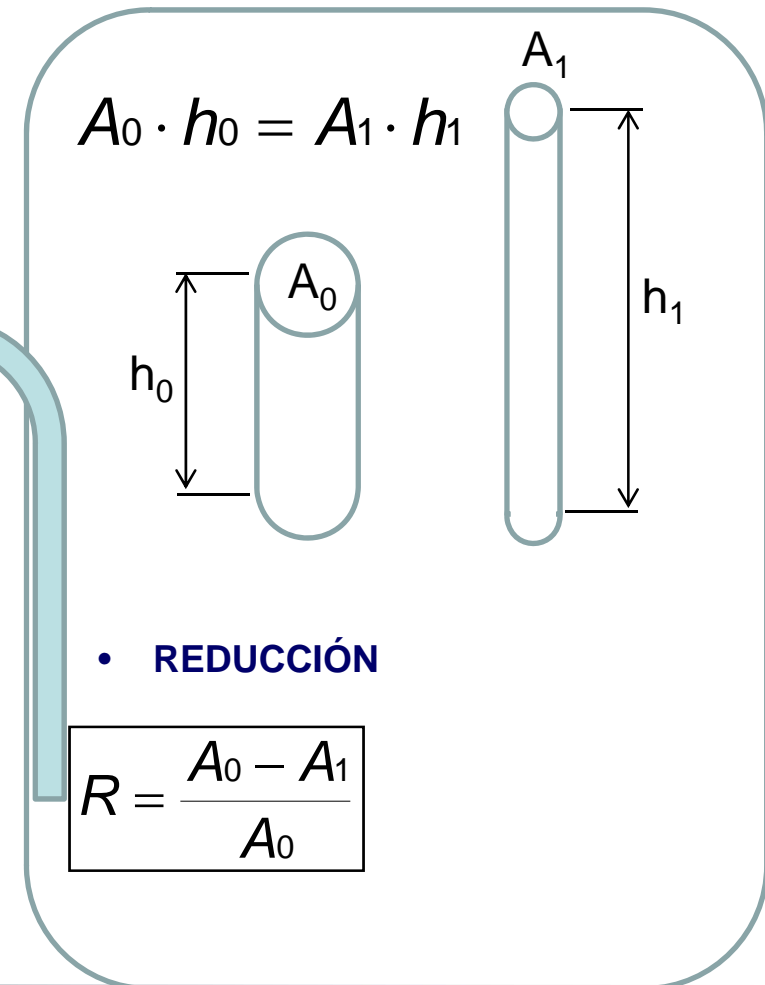
$$\varepsilon = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \ln \frac{1}{1 - R}$$

- DEFORMACIÓN UNITARIA VERDADERA

$$d\varepsilon = \frac{-dh}{h}$$

- TASA DE DEFORMACIÓN

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$





2. Comportamiento del material en régimen plástico



¿DE QUÉ DEPENDE LA FLUENCIA DE UN MATERIAL?

Deben plantearse 2 cuestiones:

- El valor de la TENSIÓN DE FLUENCIA
- El comportamiento σ - ε en la zona plástica

VARIABLES MÁS IMPORTANTES:

1. TEMPERATURA
2. TASA DE DEFORMACIÓN
3. ESTADO TENSIONAL



2. Comportamiento del material en régimen plástico



¿DE QUÉ DEPENDE LA FLUENCIA DE UN MATERIAL?

- Se mide con la **DEFORMACIÓN VERDADERA**: El ensayo de tracción no da la deformación verdadera.
- **TASA DE DEFORMACIÓN**: El ensayo de tracción convencional se realiza a una tasa de deformación muy baja.
- **TEMPERATURA**: Se suele realizar a temperatura ambiente.

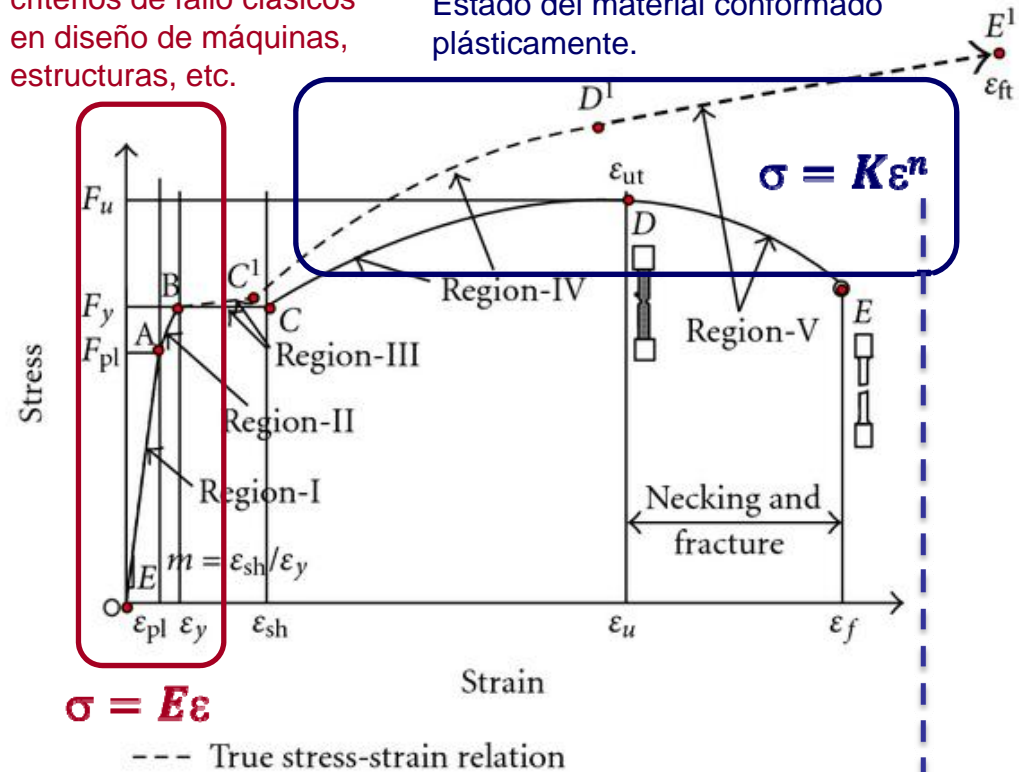
CONCLUSIÓN: El ensayo de tracción es insuficiente para procesos de conformado plástico.

ZONA ELÁSTICA:

criterios de fallo clásicos en diseño de máquinas, estructuras, etc.

ZONA PLÁSTICA:

Estado del material conformado plásticamente.



n: coef. de endurecimiento por deformación cuando $T^a > T_{recr}$, $n=0$ teóricamente.

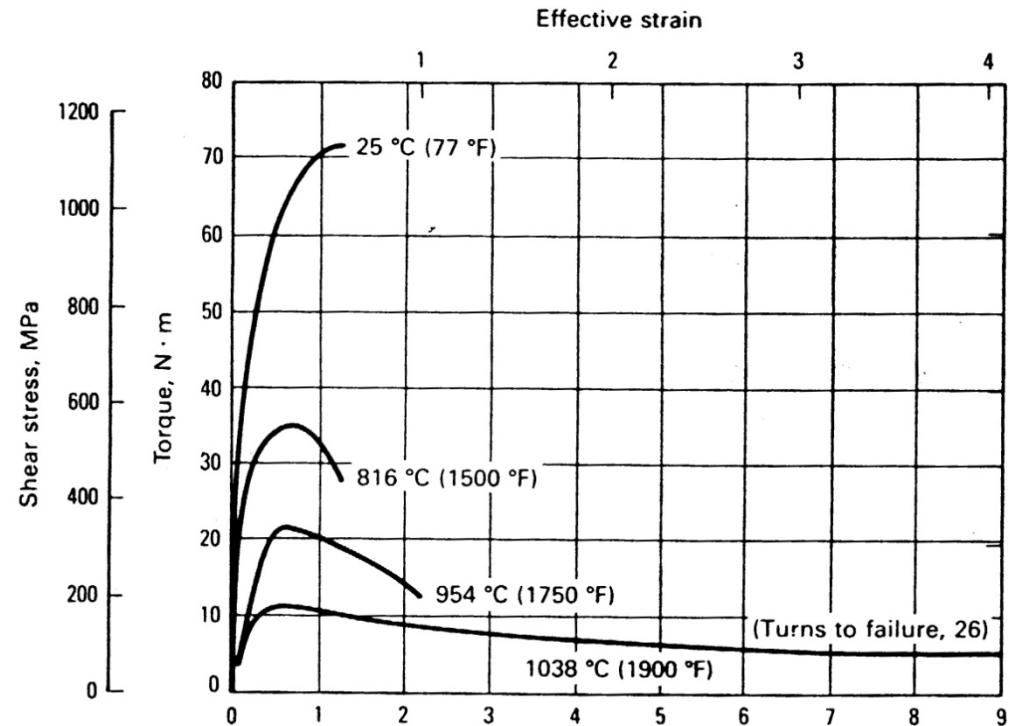


2. Comportamiento del material en régimen plástico



1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

- Reducción muy importante de la TENSIÓN DE FLUENCIA
- Desaparición progresiva del efecto de endurecimiento por deformación (n tiende a cero)
- Aumento de la elongación en la rotura



Curvas tensión-deformación para el WASPALOY a diferentes temperaturas, a una tasa de deformación de $1s^{-1}$

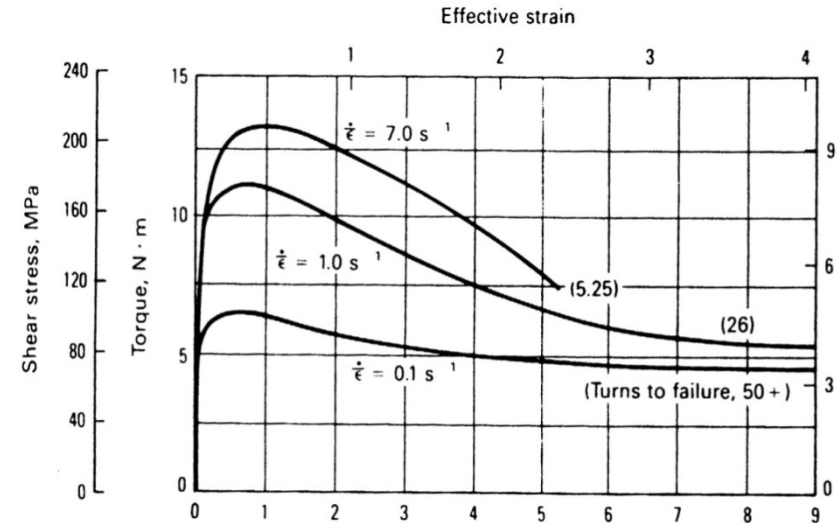


2. Comportamiento del material en régimen plástico



2. INFLUENCIA DE LA TASA DE DEFORMACIÓN

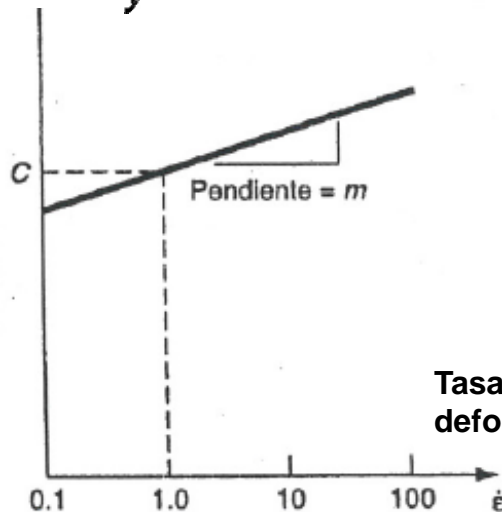
- A temperatura ambiente la tasa de deformación prácticamente no influye
- A altas temperaturas el aumento de la tasa de deformación produce aumentos de la tensión de fluencia y reducción de la ductilidad
 - Exponente de sensibilidad a la tasa de deformación (m)



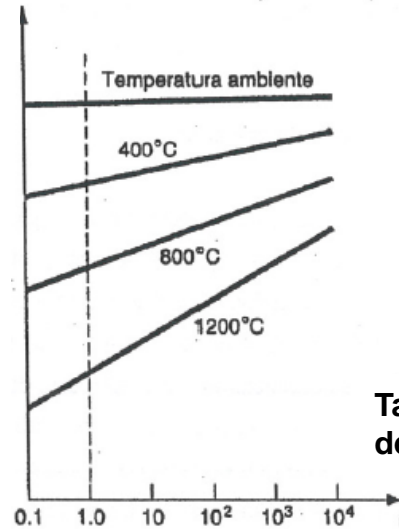
Curvas tensión-deformación para el WSPALOY a diferentes tasas de deformación, a una temperatura de 1038°C

Tensión de fluencia σ_y

$$\sigma_y = C\dot{\epsilon}^m$$



Tensión de fluencia



Ordenes de magnitud

	$\dot{\epsilon}$
Ens. Tracción	10^0-10^1
Forja	10^3-10^4
Mecanizado	$>10^6$

Tasa de deformación (s^{-1})



2. Comportamiento del material en régimen plástico



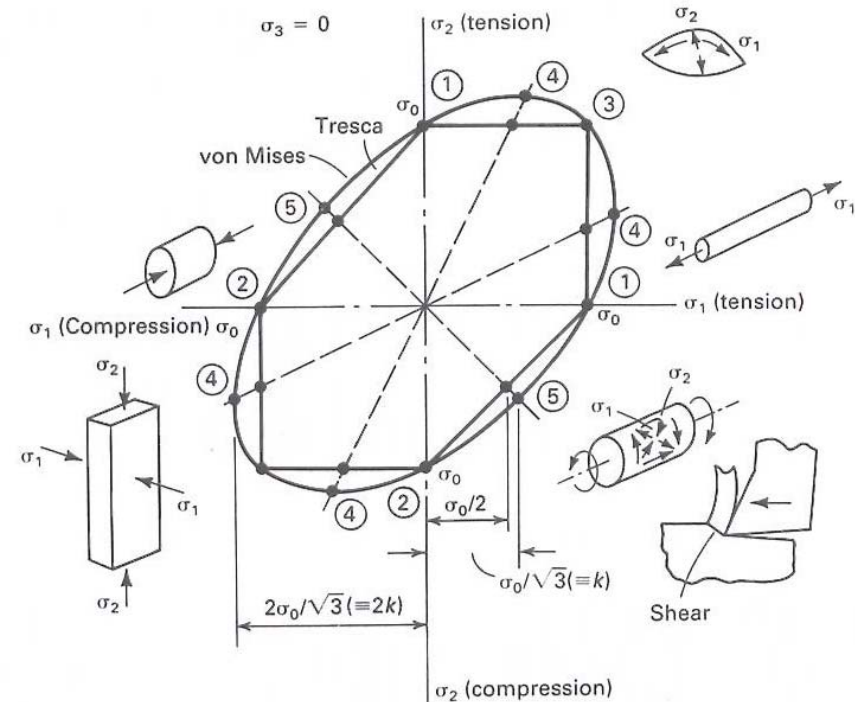
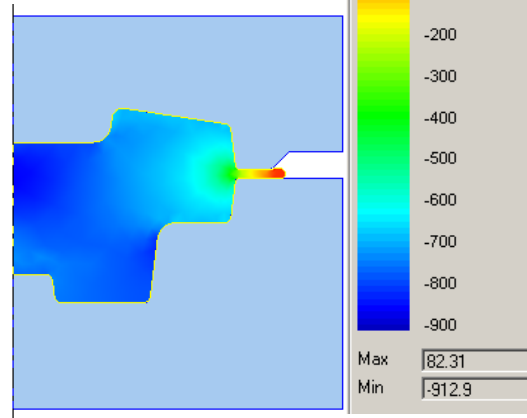
3. INFLUENCIA DEL ESTADO TENSIONAL

Tensión efectiva

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

Tensión media o hidrostática

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$



El inicio de la fluencia debe considerar los valores de las tres tensiones principales. Como muestra la figura, la fluencia no siempre se inicia en el valor obtenido en el ensayo uniaxial de tracción

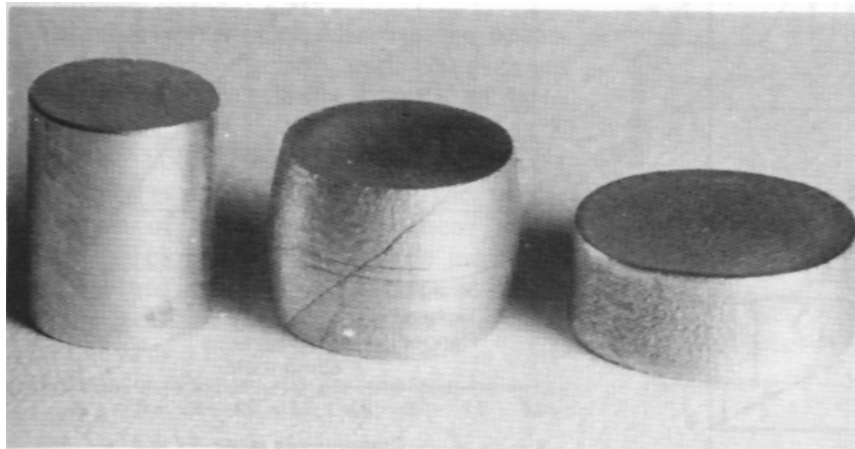


2. Comportamiento del material en régimen plástico

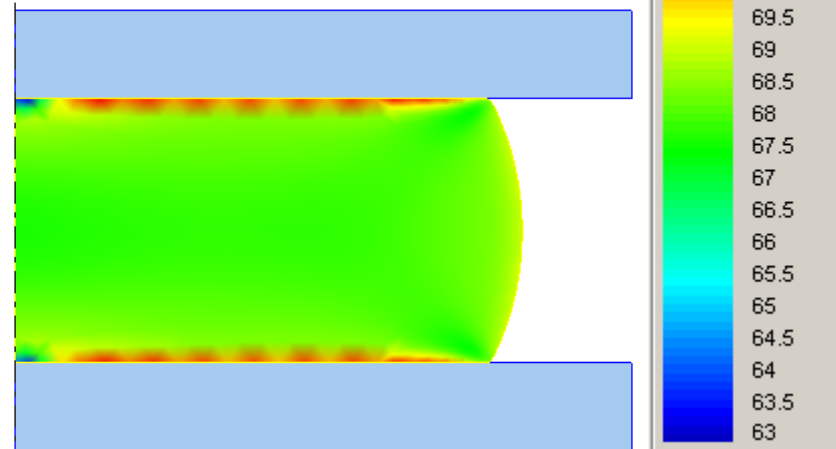


OTROS FACTORES A CONSIDERAR

- **FRICCIÓN**
 - Entre utillajes y pieza
 - Uso de lubricantes para reducir las fuerzas de fricción
- **ASPECTOS METALÚRGICOS (DUCTILIDAD)**
 - Las fases metalúrgicas presentes a diferentes temperaturas determinan comportamientos diferentes en cuanto a ductilidad.



Ensayos de compresión axial en probetas de Aluminio 2024-735. En el centro, probeta fracturada como consecuencia de una excesiva fricción con los utillajes

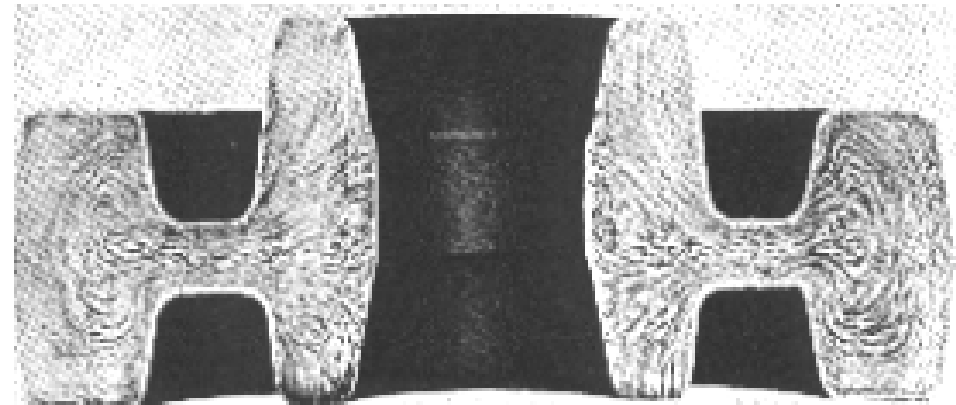


Estado tensional generado por la fricción en el contacto con los útiles en un ensayo de compresión axial



CONFORMADO EN CALIENTE

- **Temperatura de trabajo por encima de la temperatura de recristalización.**
- **Desaparición de la estructura de grano previa.**
- **Desarrollo de una nueva estructura de grano bajo deformación:**
 - **Orientación de grano en la dirección de deformación**
 - **Refino de grano: mejores propiedades mecánicas y metalúrgicas**
 - **Ductilidad**
 - **Tenacidad**
 - **Resistencia a fatiga**
 - **Eliminación de segregaciones, poros, ...**
- **Se obtienen deformaciones mucho mayores que en frío.**
- **Tolerancias y acabado superficial pobres.**



En el corte de esta pieza se aprecia el fibrado siguiendo el contorno de la pieza que se ha obtenido mediante el proceso de forja en caliente

CONFORMADO EN FRIO

- **Aumento de la resistencia mecánica de la pieza: endurecimiento por deformación.**
- **Operaciones de acabado, productos con buenas tolerancias y acabado superficial.**
- **Deformaciones pequeñas**



3. Conformado en frío y en caliente



COMPONENTES FORJADOS EN FRÍO



FORJA EN CALIENTE DE BIELAS PARA EL AUTOMÓVIL



4. Cuestionario tutorizado



1. Investiga cuál es la temperatura de forja de un acero al carbono. ¿Cuánto vale la tensión de fluencia a esa temperatura, y cuánto vale a temperatura ambiente?
2. ¿Cómo crees que se forja un cigüeñal de automóvil, en frío o en caliente? Razona la respuesta.
3. ¿Es posible mantener la tasa de deformación constante durante un ensayo de tracción? ¿Cómo crees que se han obtenido las curvas tensión-deformación a tasa de deformación constante que aparecen en la transparencia 9?
4. ¿Por qué crees que las piezas deformadas en caliente tienen mayor vida a fatiga?
5. Define los conceptos de tenacidad y ductilidad.
6. ¿En qué consiste el fenómeno de endurecimiento por deformación en frío? ¿Cómo afecta a la ecuación tensión-deformación que define el comportamiento mecánico de un material?