

Ejercicio 4

Porcentaje de deformación contra dureza

Teoría

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA

SEMESTRE 2021 - I

Índice

- Deformación plástica
- Mecanismos de endurecimiento
- Endurecimiento por deformación
- Efecto del lubricante durante el ensayo de compresión

Deformación plástica

Deformación plástica

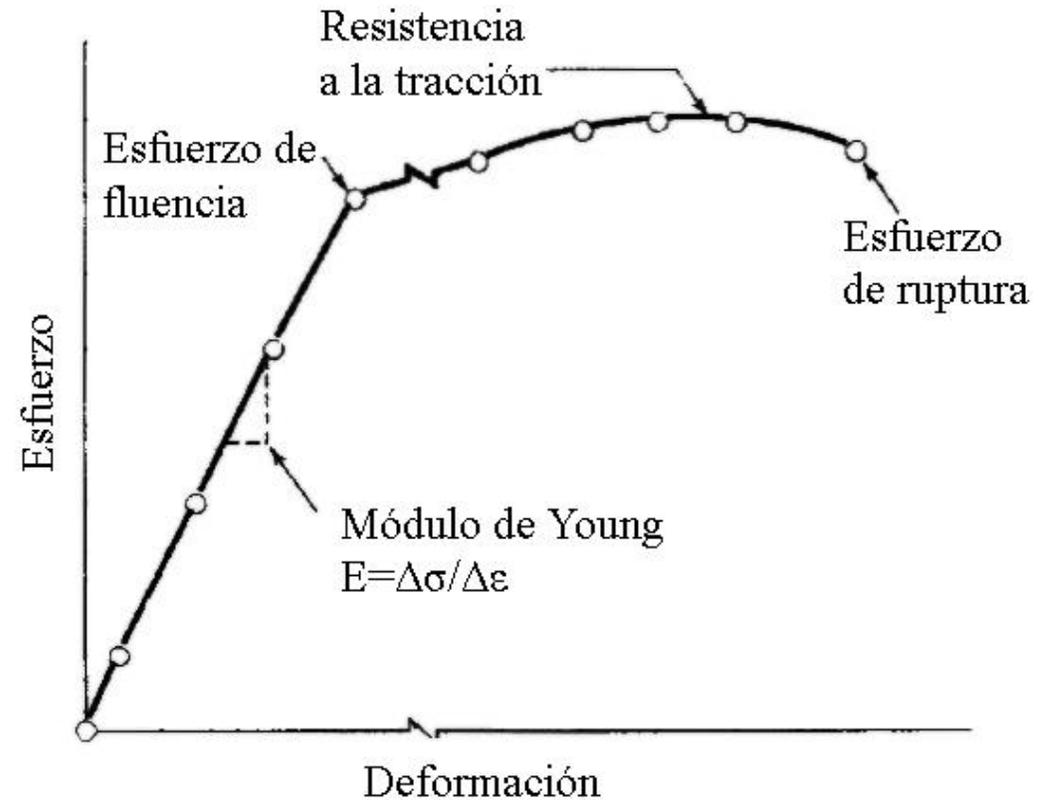
¿Qué es la deformación plástica?

¿Cómo afecta la deformación plástica las propiedades mecánicas de un material?

¿Por qué se ven afectadas las propiedades mecánicas al deformar un material plásticamente?

Deformación plástica

La **deformación plástica** de un material, es una deformación de **carácter permanente** que sufre el mismo, se da cuando el material se somete a una carga o esfuerzo que supera su esfuerzo de fluencia o resistencia de fluencia, es decir, cuando **se supera la resistencia elástica** de dicho material al tipo de esfuerzo al que se ha sometido.



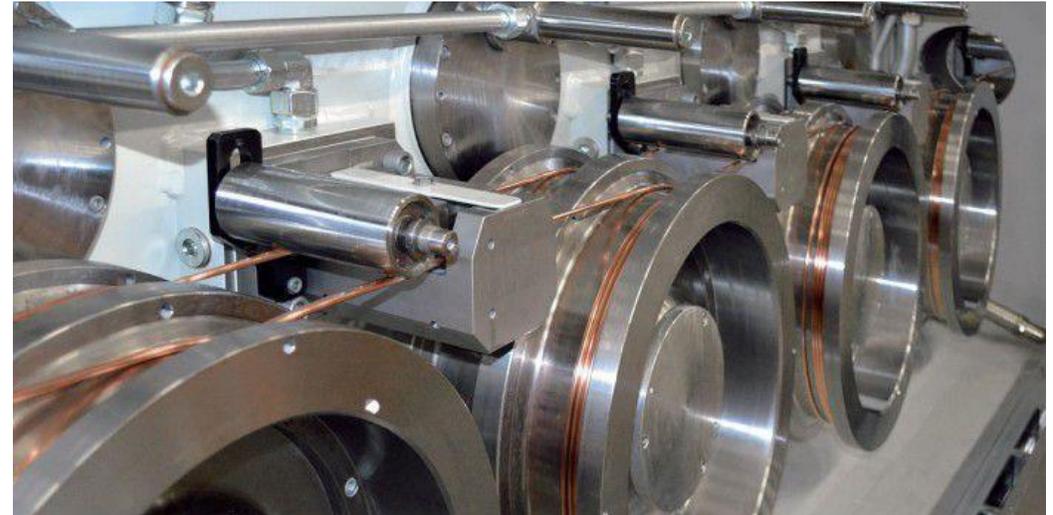
Deformación plástica



En términos generales, **una pieza** que ha terminado su proceso de manufactura y que se encuentra **operativa**, es decir, que esta desempeñando la función para la que fue diseñada, **no debería sufrir una deformación plástica** siempre que se este sometiendo a los esfuerzos para la que fue diseñada, el hacerlo se consideraría una **falla** en la mayoría de los casos.

Deformación plástica

Por otra parte, muchos **procesos de manufactura** implican que el material sea **deformado plásticamente** para alcanzar la forma de un **producto** semi-terminado o **terminado**. En estos casos se deben realizar cálculos para que la deformación sea eficiente y el material no llegue a fallar durante su procesamiento.

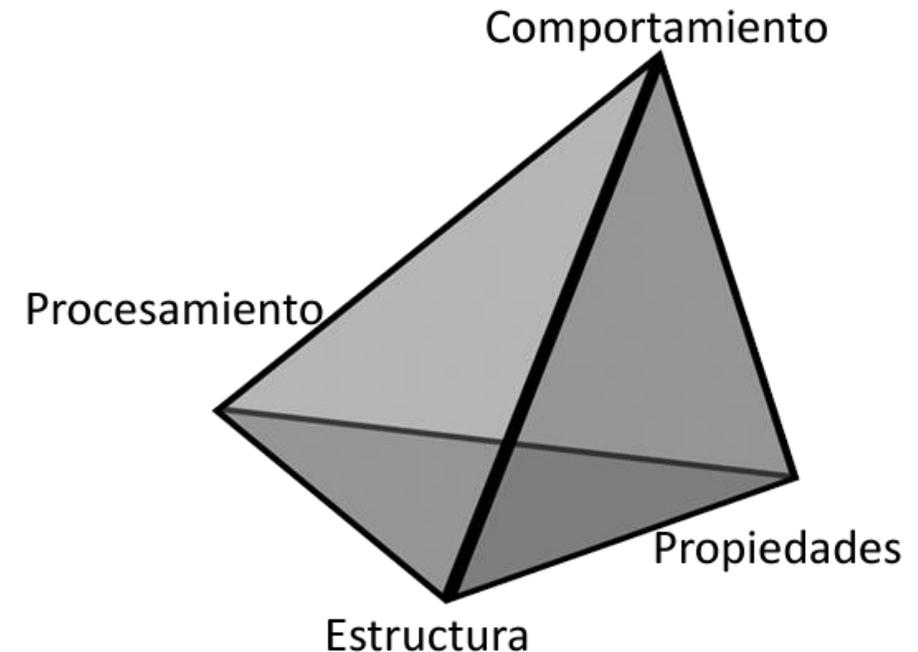


Mecanismos de endurecimiento

Mecanismos de endurecimiento

El **endurecimiento** de un material, se refiere al **incremento en su dureza** mediante algún **procesamiento** que modifique la estructura o la composición química del mismo. En el caso de los materiales metálicos, existen principalmente cinco mecanismos de endurecimiento:

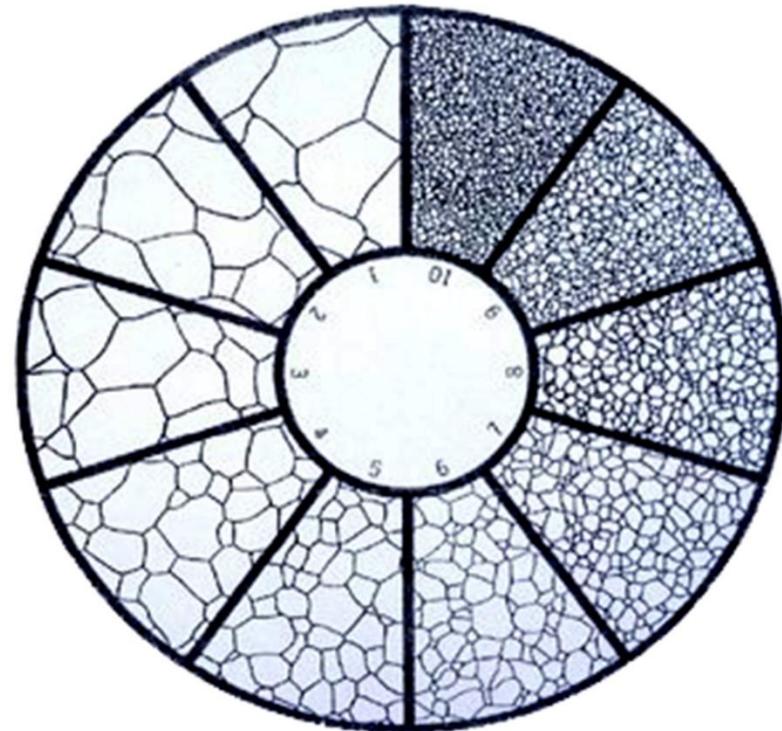
- Refinación de grano
- Solución sólida
- Precipitación
- Transformaciones martensíticas
- Deformación en frío



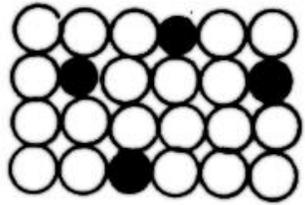
Mecanismos de endurecimiento

El endurecimiento mediante **refinación de grano** consiste en **reducir el tamaño de los granos** en un material sólido, es decir, en generar mayor área interfacial entre los cristales individuales presentes en el material. Los bordes de grano son regiones donde es fácil almacenar esfuerzos dentro del material, y cuya existencia misma impide la libre deformación del mismo.

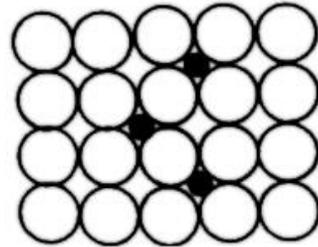
Al disminuir el tamaño de grano incrementamos la cantidad de interfases entre los granos del material, y por ende, se **endurece el mismo**.



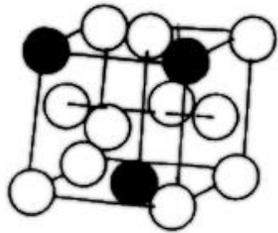
Mecanismos de endurecimiento



Solución sólida sustitucional

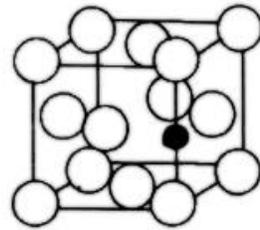


Solución sólida intersticial



○ Átomo de Fe

● Átomo de Ni



○ Átomo de Fe

● Átomo de C

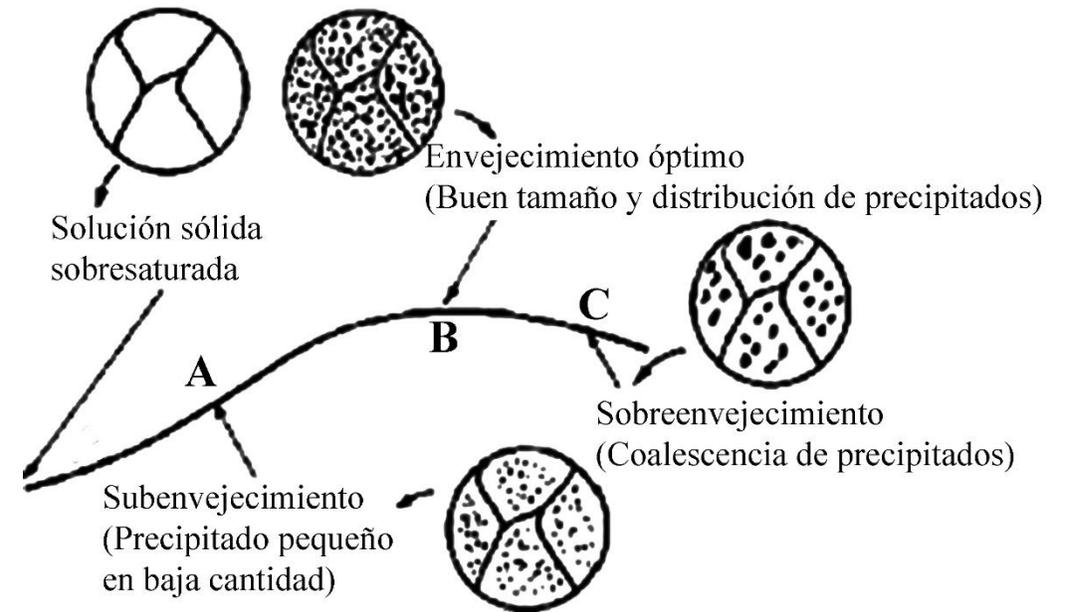
Cuando se le adicionan elementos aleantes a un material metálico formando una **solución sólida**, la estructura de la ahora aleación cambia y con ello cambian las propiedades que presenta el material.

En términos generales, el hecho de **adicionar un aleante** genera cambios en la estructura cristalina, deformándola y con ello haciendo que sea más resistente frente a otros esfuerzos aplicados, **endureciéndolo**.

Mecanismos de endurecimiento

El **endurecimiento por precipitación** o envejecimiento, consiste en generar una solución sólida estable a alta temperatura y enfriarla rápidamente, logrando con esto una solución sólida metaestable que **precipitará compuestos intermetálicos** a lo largo del tiempo, es decir, precipitando fases estables a la temperatura ambiente.

Los precipitados sirven como “refuerzos” del material, con ello **aumentando la dureza** del mismo.



Mecanismos de endurecimiento



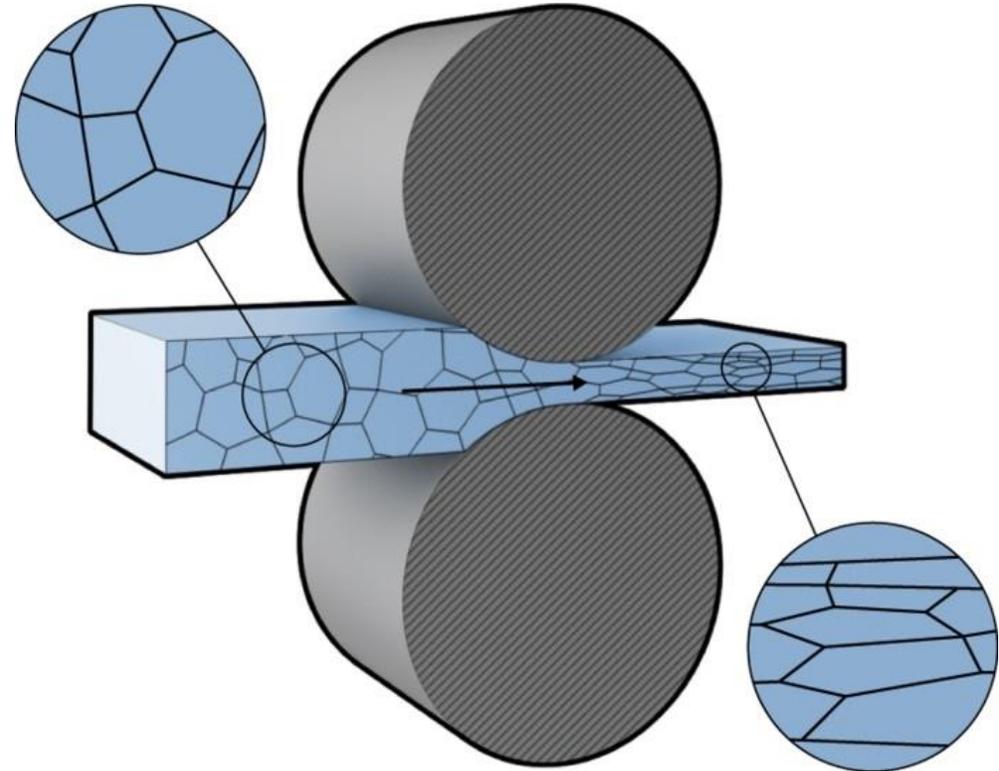
Las **transformaciones martensíticas** son aquellos cambios de fase que no involucran un proceso difusivo dentro de los materiales metálicos.

Implican cambios microestructurales en los materiales que las sufren, muchas veces generando **microconstituyentes con una mayor dureza** y resistencia mecánica, a costa de presentar una menor ductilidad y una mayor fragilidad.

Mecanismos de endurecimiento

El endurecimiento por **deformación en frío** o acritud, se debe al incremento en la densidad de dislocaciones en la estructura cristalina del mismo a medida que **la deformación plástica** del mismo se ve incrementada.

Las dislocaciones que presenta el material dificultan la formación de nuevas dislocaciones, esto aunado a los esfuerzos residuales almacenados por el material, implican un incremento en la **resistencia a una nueva deformación plástica**, es decir, el material se **endurece**.



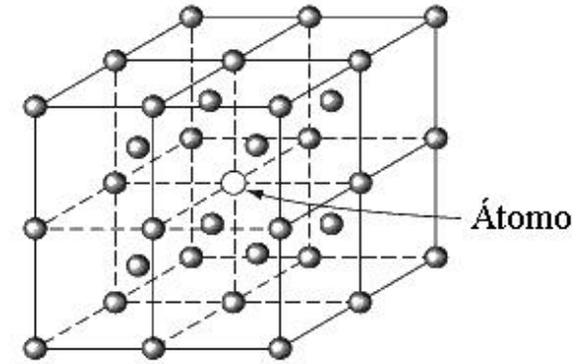
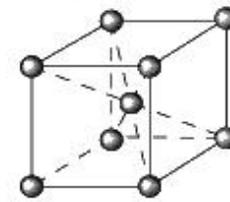
Endurecimiento por deformación

Endurecimiento por deformación

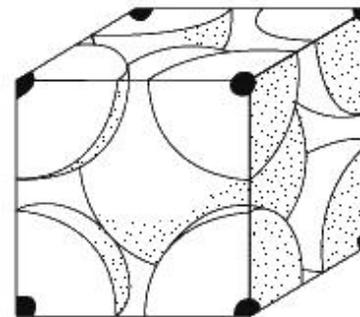
Los **metales** son usualmente **crystalinos** cuando se encuentran en estado **sólido**, y aunque en ocasiones se pueden crear cristales de gran tamaño, un objeto metálico normalmente esta constituido de **numerosos cristales muy pequeños**, los cuales se denominan **granos**.

Dado su tamaño, los granos normalmente solo son **visibles** mediante el uso de **microscopios**, y debido a esto nos referimos a la estructura metálica observada de esta manera como **microestructura**, mientras que lo que se observa a **simple vista** se denomina **macroestructura**.

Celda unitaria de una estructura cristalina cubica centrada en el cuerpo (BCC)

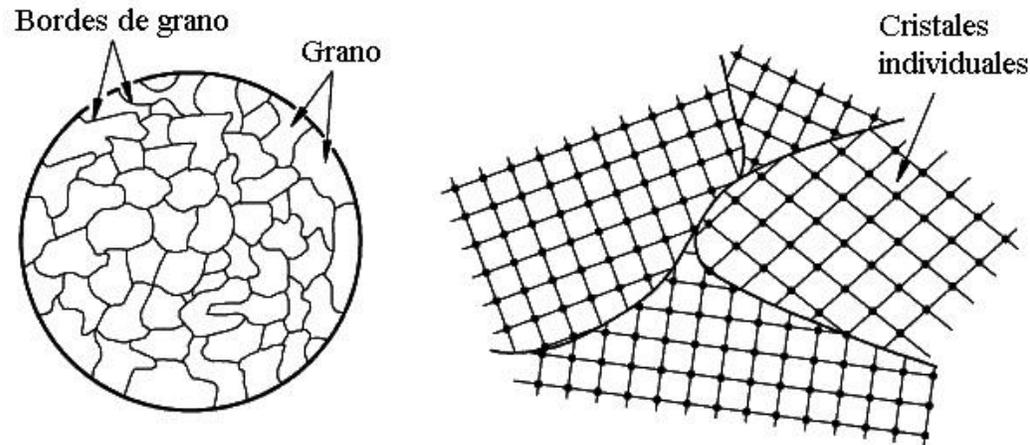


Arreglo cristalino BCC



Corte de una celda unitaria BCC

Endurecimiento por deformación



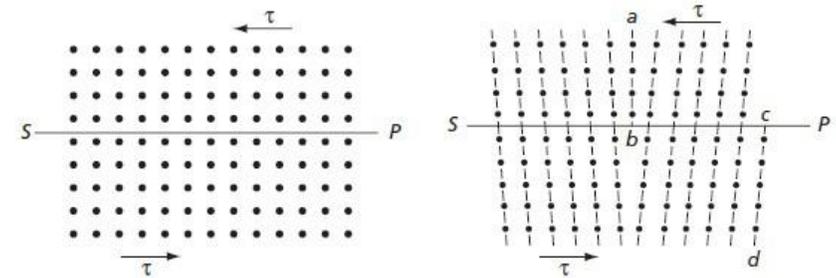
Los **cristales** que forman la microestructura de un metal difícilmente son perfectos, presentan muchas veces **deslizamientos en su retícula**, los cuales se denominan **dislocaciones**, y que se presentan en los planos de deslizamiento de la estructura cristalina, frecuentemente en los **bordes de grano del material**.

Es debido a la presencia de estos defectos, que los límites de grano son lugares donde se concentran esfuerzos dentro del material, y además lugares donde se puede atacar químicamente el material con facilidad.

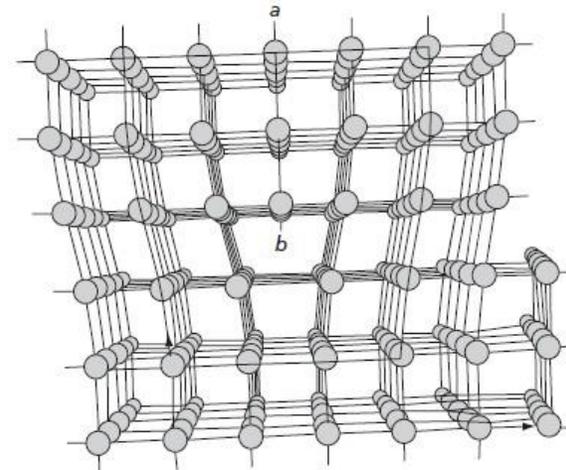
Endurecimiento por deformación

Las dislocaciones presentan dos orientaciones básicas dependiendo de los esfuerzos a los que se somete el material, la orientación de los granos, los planos de deslizamiento de la estructura cristalina, entre otros factores, las dislocaciones de borde y las dislocaciones de tornillo.

Incluso en un material que no ha sido sometido a una deformación plástica se presenta una cierta densidad de dislocaciones en los límites de grano.

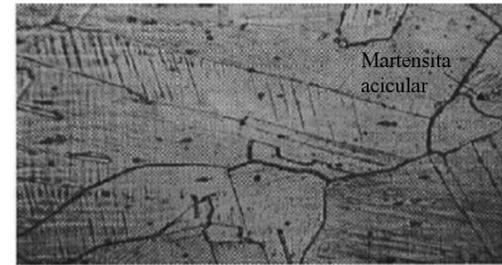


Dislocación de borde

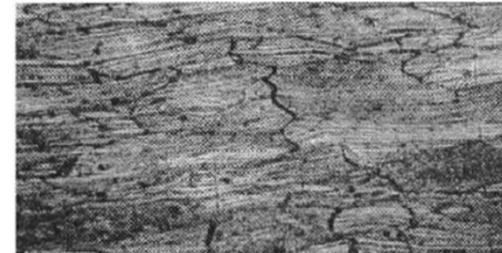


Endurecimiento por deformación

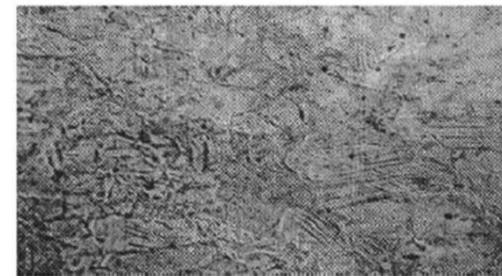
Cuando deformamos un metal plásticamente, a una temperatura donde no se recupere el mismo rápidamente, el número de dislocaciones presentes se incrementa rápidamente, lo cual causa la acumulación de esfuerzos residuales y dificulta cada vez más la deformación de la estructura cristalina del metal, endureciéndolo. A este proceso se le denomina endurecimiento por deformación en frío, endurecimiento por trabajo en frío o acritud.



10 %



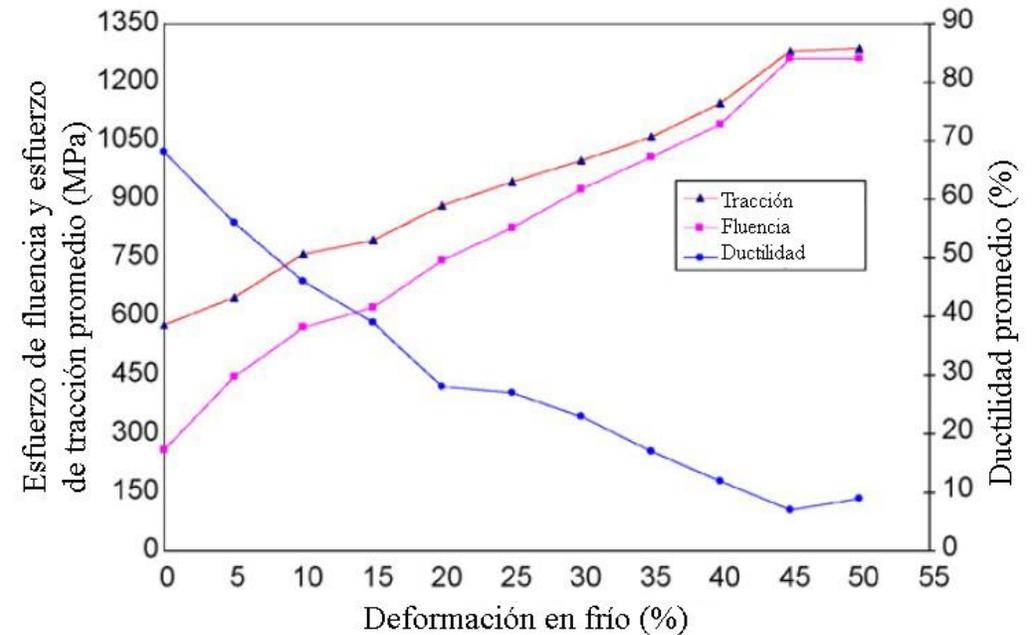
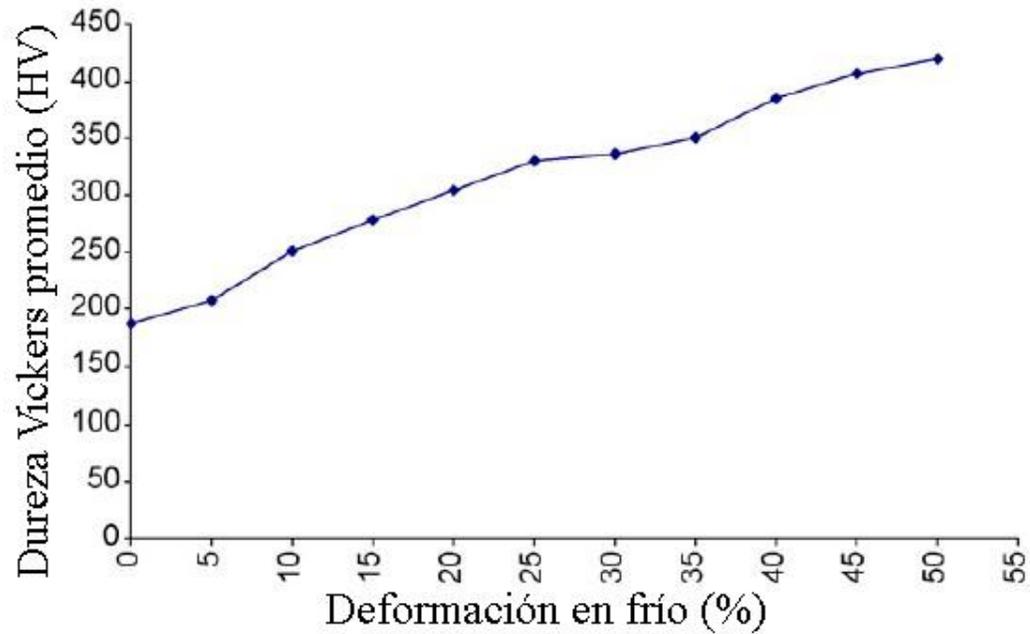
40%



50%

Microestructura de un acero inoxidable 304 (400x HCl) tras la reducción de espesor mediante laminación

Endurecimiento por deformación



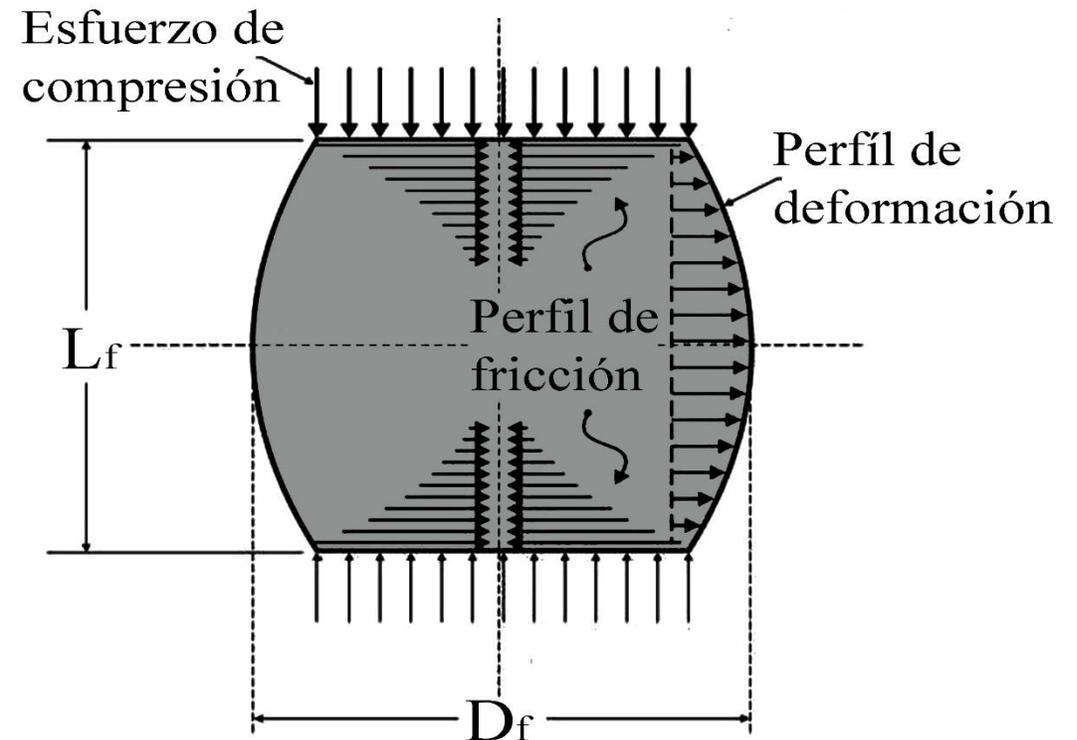
Efecto del lubricante durante el ensayo de compresión

Efecto del lubricante durante el ensayo de compresión

Uno de los principales problemas que presenta el ensayo de compresión es la deformación no uniforme que sufre la probeta debido a la fricción en las caras normales a la aplicación del esfuerzo.

La fricción representa un esfuerzo que se opone a la deformación radial del material y que se reduce a medida que se incrementa la distancia con respecto a los extremos de la misma.

Debido a esto, el centro de la probeta se deforma libremente, mientras que las caras se deforman con mucha restricción, generando un abarrilamiento de la probeta deformada.

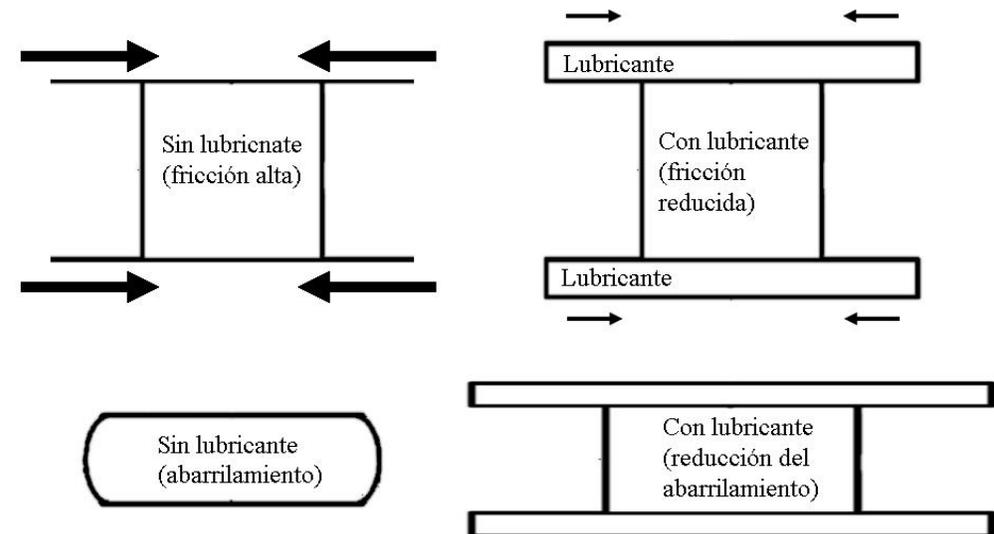


Efecto del lubricante durante el ensayo de compresión

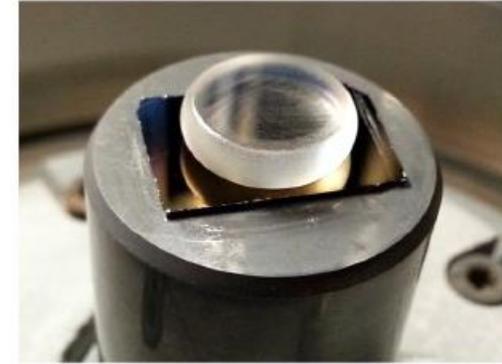
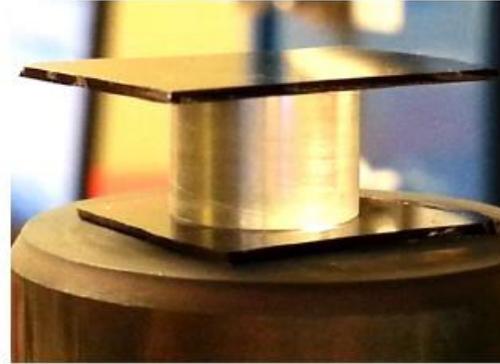
Una manera de reducir el problema del abarrilamiento es emplear un lubricante entre las tapas de las superficies inferior y superior de la probeta y los soportes de la máquina de compresión.

El lubricante reduce la fricción entre la probeta y la máquina, lo que implica una reducción en el abarrilamiento de la probeta, es decir, obteniéndose una reducción más uniforme de la misma.

Típicamente se emplean lubricantes sólidos fabricados de un material que reduzca la fricción al deformarse con facilidad.



Efecto del lubricante durante el ensayo de compresión



Uso de lubricante en la deformación de probetas de vidrio sometidas a un esfuerzo de compresión a temperaturas elevadas

Bibliografía

Bibliografía

- Askeland, Donald R. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. International Thomson Editores, 2004.
- Verhoeven, J. D., & Luna, O. S. (1987). *Fundamentos de metalurgia física*. Limusa.
- Abbaschian, R., & Reed-Hill, R. E. (2008). *Physical metallurgy principles*. Cengage Learning.
- Porter, D. A., & Easterling, K. E. (2009). *Phase transformations in metals and alloys (revised reprint)*. CRC press.

Bibliografía

- Frankel, J., Abbate, A., & Scholz, W. (1993). The effect of residual stresses on hardness measurements. *Experimental mechanics*, 33(2), 164-168.
- Zehetbauer, M., & Seumer, V. (1993). Cold work hardening in stages IV and V of FCC metals—I. Experiments and interpretation. *Acta metallurgica et materialia*, 41(2), 577-588.
- Zehetbauer, M. (1993). Cold work hardening in stages IV and V of FCC metals—II. Model fits and physical results. *Acta metallurgica et materialia*, 41(2), 589-599.
- Gavriljuk, V. G., Tyshchenko, A. I., Bliznuk, V. V., Yakovleva, I. L., Riedner, S., & Berns, H. (2008). Cold Work Hardening of High-Strength Austenitic Steels. *steel research international*, 79(6), 413-422.
- Milad, M., Zreiba, N., Elhalouani, F., & Baradai, C. (2008). The effect of cold work on structure and properties of AISI 304 stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 203(1-3), 80-85.

Bibliografía

- Labuz, J. F., & Bridell, J. M. (1993, August). Reducing frictional constraint in compression testing through lubrication. In *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts* (Vol. 30, No. 4, pp. 451-455). Pergamon.
- Sofuoglu, H., & Rasty, J. (1999). On the measurement of friction coefficient utilizing the ring compression test. *Tribology International*, 32(6), 327-335.
- Gong, F., Guo, B., Wang, C., & Shan, D. (2010). Size effect on friction of C3602 in cylinder compression. *Tribology Transactions*, 53(2), 244-248.
- Yao, Z., Mei, D., Shen, H., & Chen, Z. (2013). A friction evaluation method based on barrel compression test. *Tribology Letters*, 51(3), 525-535.
- Zhou, J., He, P., Yu, J., Lee, L. J., Shen, L., & Yi, A. Y. (2015). Investigation on the friction coefficient between graphene-coated silicon and glass using barrel compression test. *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena*, 33(3), 031213.

Bibliografía

- Standard, A. S. T. M. "E6 – 02 Standard Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing" *Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA: ASTM (2002): pp. 10.*
- Standard, A. S. T. M. "E18 – 03 Standard Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials" *Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA: ASTM (2003): pp. 22.*
- Standard, A. S. T. M. "E9 – 00 Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature" *Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA: ASTM (2002): pp. 10.*