

EFFECTO DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA Y LAS CONDICIONES DE RECOCIDO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS AISI 1006 LAMINADOS EN FRÍO

E.J Mendoza ⁽¹⁾, J.D Escobar ⁽²⁾ y H.V Martínez ⁽¹⁾

(1) Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, COLOMBIA.

(2) Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia Medellín, COLOMBIA.

E-mail: emigdio.mendoza@correo.upb.edu.co

RESUMEN:

La metalurgia de los aceros de bajo contenido de carbono laminados en frío o en caliente, ha sido ampliamente estudiada. Luego de la recristalización durante los tratamientos térmicos de recocido, la textura obtenida es en la actualidad objeto de profundas investigaciones, ya que dicha textura juega un papel importante en las propiedades plásticas para procesos industriales de embutición profunda.

Las laminas de aceros de bajo contenido de carbono AISI 1006, son comúnmente utilizados para fabricar piezas embutidas o estampadas, que exigen en el material laminado alta ductilidad unidimensional y bidimensional, para así evitar defectos durante los proceso de manufactura. Este trabajo se enfoco en determinar los porcentajes óptimos de deformación en frío y las condiciones de recocido, para lograr láminas delgadas de acero con alta ductilidad en estado completamente recristalizado. Se deformaron en frío láminas de AISI 1006 provenientes de procesos de laminación en caliente (Figura 1 (a)), hasta obtener porcentajes de deformación de un 90%, luego se seleccionaron muestras con porcentajes de deformación de 48%, 60%, 73%, 83% y 90%, las cuales fueron tratadas térmicamente a temperaturas en un rango de 550°C y 700°C, con el fin de definir las condiciones donde es posible llegar a la máxima recristalización del material y por ende la mejor aptitud a la deformación de las laminas para procesos de deformación subsecuentes.

Mediante ensayos de embutición Erichsen, macrodureza y microscopía óptica, se encontró que al aumentar los porcentajes de deformación plástica previa al tratamiento térmico, sin importar la temperatura de recocido, la embutibilidad del material disminuye. Se encontró que la embutición siempre es más alta para los recocidos a mayor temperatura, pero es afectada por el refinamiento del tamaño de grano. Además, para deformaciones menores a 75%, y temperaturas menores a 600°C, la recristalización de los granos del material es insuficiente y su crecimiento es anormal, mientras que para las temperaturas más altas, el crecimiento de grano es excesivo. Finalmente, la mayor cantidad de deformación previa al tratamiento térmico y las mayores temperaturas de recocido generarán un crecimiento de grano más homogéneo, las menores durezas y los valores más bajos de embutibilidad.

Tópico 2: Materiales metálicos

Palabras claves: AISI 1006, Embutición, análisis microestructural, recocido

1. INTRODUCCIÓN

El laminado es el proceso de deformación plástica de un metal por el paso de este entre rodillos de igual tamaño con el objetivo de obtener una reducción en el espesor. Dependiendo de la temperatura a la cual se realice el proceso, este puede ser considerado como laminación en frío o en caliente, dependiendo si la temperatura del proceso está por encima o por debajo de la temperatura de recristalización [1-4].

Los procesos de deformación en frío para laminas o platinas acero de bajo contenido de carbono, es usado para incrementar la dureza y la resistencia de éstos aceros, ya que no tienen una respuesta a tratamientos térmicos, aunque esto involucra una reducción del espesor en forma unidimensional o bidimensional, por la aplicación de una carga en compresión, lo que permite obtener mejores características superficiales y tolerancias dimensionales, en comparación con os proceso de laminado en caliente [5,6].

Como el laminado en frío se da por mecanismos de deformación plástica, dependiendo de la reducción de espesores, se produce un cambio de forma de los granos en la dirección de laminación y al mismo tiempo se incrementa la densidad de dislocaciones desde 10^{10} m^{-2} hasta valores de 10^{16} m^{-2} , incrementando de esta forma la resistencia a la cedencia y dureza del material. Entre mayor sea la densidad de dislocaciones mayor la resistencia a la cedencia [7,8].

Después de los aplicar la deformación plástica al material metálico éste puede experimentar una recuperación de las propiedades, al realizar un tratamiento térmico de recocido que permita cristalizar granos nuevos a partir de la estructura deformada, cuando el material es calentado a una temperatura denominada temperatura de recocido. La energía elástica almacenada por las dislocaciones y la deformación de los cristales, actúa la fuerza impulsora en el proceso de recrystalización. El incremento de la temperatura o el tiempo de recrystalización permite obtener una completa recrystalización, retornando a una estructura de granos equiaxiales [9-11]

Durante el desarrollo de este trabajo, se estudio en laminas de de aceros AISI 1006, la correlación entre los porcentajes de deformación plástica, la temperatura de recocido y tiempo de recocido, con el fin de obtener las condiciones microestructurales optimas para aplicaciones en las cuales las laminas sean sometidas a proceso de estampados de embutición profunda.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se seleccionaron laminas de acero AISI 1008 en estado laminando en caliente, las cuales fueron deformadas utilizando un molino laminador industrial (figura 1a), para así realizar recocido a diferentes temperatura en un horno industrial de atmosfera controlada (Figura1b), y estudiar la microestructura, la dureza y la embutición Erichsen de las laminas obtenidas.

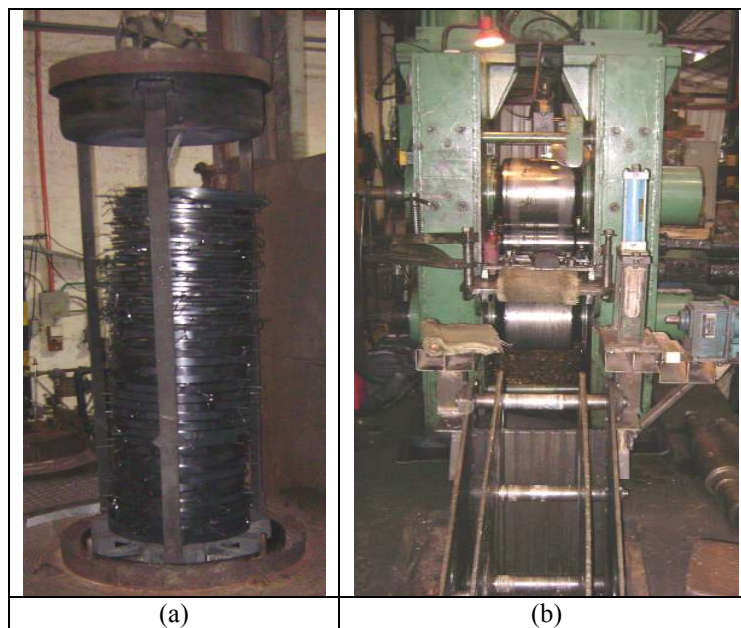


Figura 1. a) Horno de recocido industrial, b) molino laminador industrial.

La lamina en estado laminado en calientes de 3 mm de espesor, fue sometidas a deformaciones en frio de 48%, 60%, 73%, 83% y 90%, luego todas estas laminas con los diferentes porcentajes de laminación, para así ser recocidas a 550°C, 600°C, 650°C y 700°C, durante 3 horas de sostenimiento. La microestructura y el tamaño de grano de estas laminas fueron evaluadas por microscopia óptica.

Para caracterizar las propiedades mecánicas de las laminas, se realizaron mediciones de dureza a las laminas deformadas y recocidas utilizando para realizar las mediciones un durómetro digital, marca BUEHLER modelo Macromet 5100T, Obteniendo la dureza promedio de cada una de las muestras en la escala Vickers y además se realizaron mediciones de embutición en milímetro, usando una maquina de ensayos de embutición Erichsen.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al caracterizar la lamina de 3mm de acero AISI 1006 en estado laminado en caliente, usada como materia prima para este estudio, se encontró que esta contaba con una dureza 120Hv en escala Vickers y al realizar el caracterización microestructural. Se observó una estructura monofásica, conformada por granos de ferrita, relativamente uniformes o equiaxiales con un tamaño promedio de 28 μm , en los cuales no se observa ningún nivel de deformación previa (Figura 2). Lo que le confiere a esta lamina una buena aptitud a la deformación plástica.

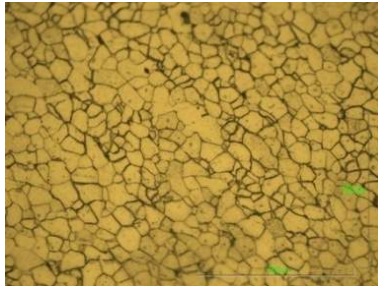


Figura 2. Micrografías de láminas de acero AISI 1006, laminado en caliente. Aumento 500X y ataque con Nital al 2%

A medida que la lamina experimenta en proceso de laminación, la morfología del grano cambia significativamente, aplastándose y tomando una orientación en la dirección de laminación, pero al llegar a deformaciones de 73% comienza a desaparecer el límite de grano y se aprecian unas bandas de deformación (Figura 3), traduciéndose esto en un incremento de la resistencia y la dureza, pero una disminución de la ductilidad.

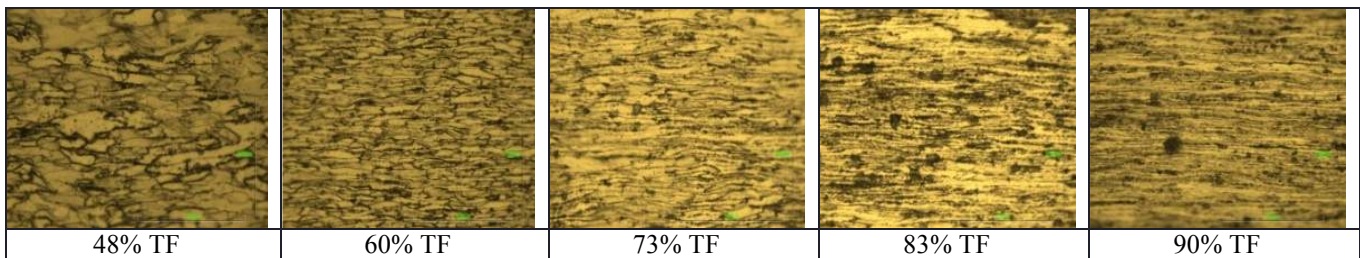


Figura 3. Micrografías de láminas de acero AISI 1006 laminado en frío, para diferentes porcentajes de deformación (%TF). Aumento 500X y ataque con Nital al 2%

En la figura 4, podemos observar para las diferentes condiciones de trabajo en frío y recocido, como durante el proceso térmico, el material recrystaliza para valores adecuados de temperatura y el porcentaje de deformación, lo que provee la energía interna o el nivel de dislocaciones adecuado, para iniciar un proceso de nucleación y crecimiento de granos nuevos libres de deformación, al interior de la matriz deformada [1-3].

Si evaluamos en forma detallada, para una temperatura de recocido de 550°C la recrystalización se obtiene en un 90% de deformación, para 600°C desde un 73%, para 650°C desde un 60% y para 700°C desde un 60%. Cuando el material no obtiene el porcentaje adecuado de deformación, no se inicia la recrystalización y solo se genera un proceso de recuperación donde el grano deformado no recrystaliza y el material no recupera su ductilidad y además se observa un crecimiento anormal de grano.

Por otro lado, se logra apreciar en la microestructura de la lamina deformada un 90% y tratada térmicamente a 700°C, que el crecimiento del grado es exagerado con respecto a los otros tratamientos térmicos y esto está asociado, a que en esas condiciones la energía interna están alta que se inicia en forma muy temprana la nucleación de los granos nuevos y bajo estas condiciones térmicas se propician los fenómenos difusión, que conllevan a un exagerado crecimiento del grano, cuyas características son similares a la de la materia prima

laminada en caliente, aunque en este caso puede existir una mejor distribución del carbono en los granos ferríticos.

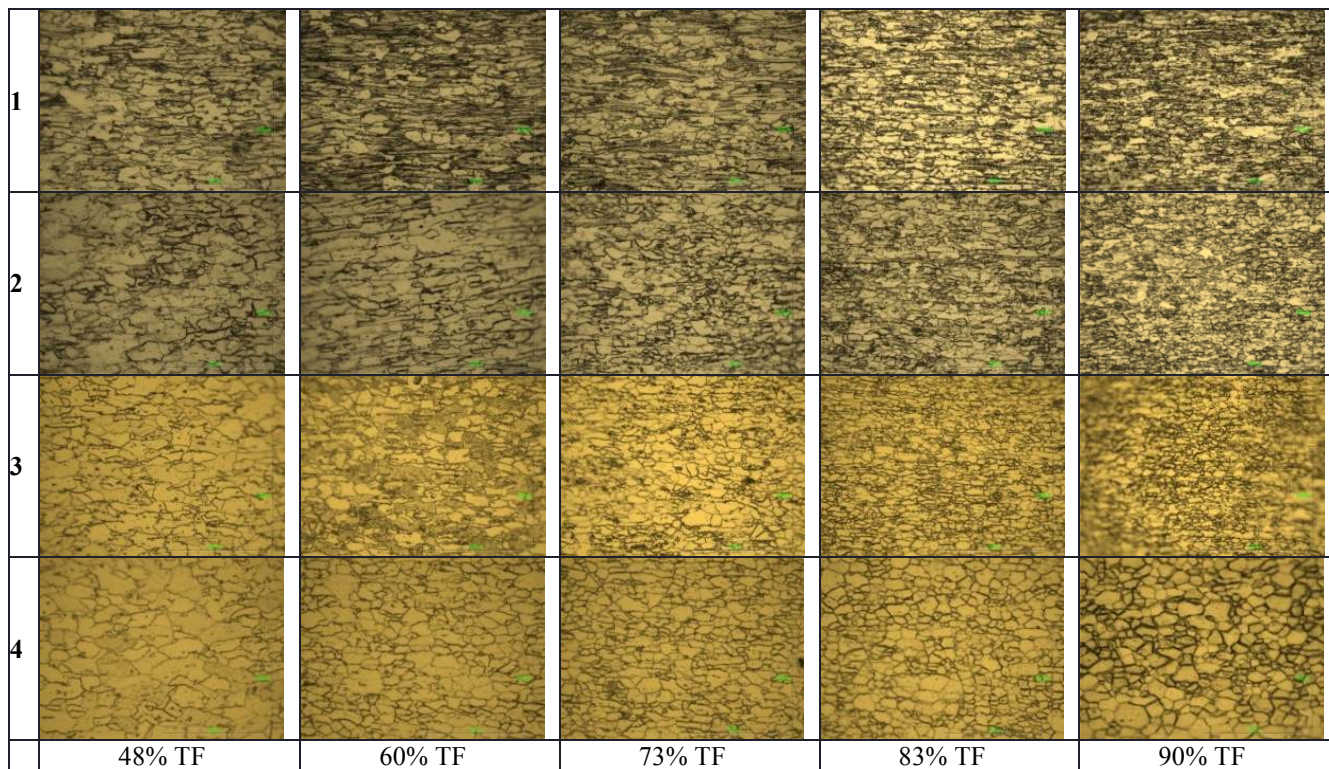


Figura 4. Micrografías de laminas de acero AISI 1006 laminada en frío en un rango de deformación de 48% a 90% y recocido a (1) 550°C, (2) 600°C, (3) 650°C y (4) 700°C. Aumento 500X y ataque con Nital al 2%

Al analizar cómo se relaciona la dureza con la temperatura de recocido (figura 5), se observa que a temperaturas superiores a 600°C la dureza disminuye para todos los porcentajes de deformación, lo que permite interpretar que se logró una recristalización parcial o total en la lamina metálica, como se puede corroborar en el análisis micro estructural. Para temperaturas de 650°C y 700°C, la dureza disminuye lentamente ya que el grano continúa en crecimiento. Cuando el recocido se realiza a 550°C solo alcanzan a recristalizar completamente las laminas con porcentajes de deformación alto, lo que corresponde a un 83% y 90%.

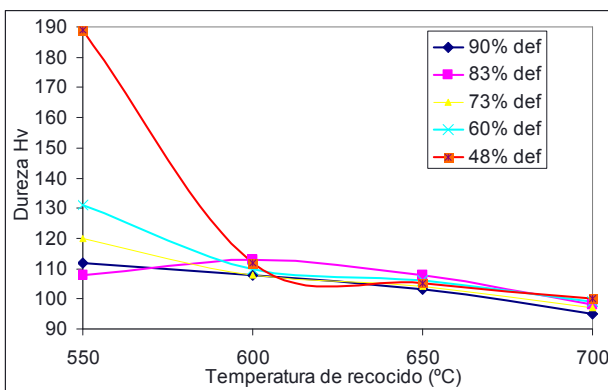
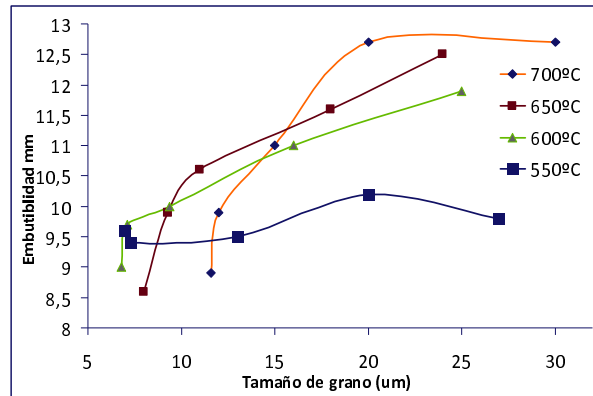


Figura 5. dureza vs temperatura de recocido para acero AISI 1006 laminada en frío en un rango de deformación de 48% a 90% y recocido a 550°C, 600°C, 650°C y 700°C.

De la figura 6, se puede observar que la embutición de un material no solo depende del tamaño de grano sino de su estado de recristalización. Cuando se realiza el tratamiento térmico a 550°C, el tamaño de grano no varía

significativamente y el material conserva una embutición promedio de 9,5 mm, pero esto está relacionado con el hecho de que las muestras con grano grande son muestras que no recrystalizaron totalmente. Mientras que las que muestran un grano pequeño son muestras completamente recrystalizadas, pero por la baja temperatura de tratamiento este grano es demasiado pequeño, lo que genera un material con una resistencia alta que evita la embutición. Sin embargo, para el otro extremo cuando la temperatura de recocido es 700°C se observa que la embutición alcanza un máximo de 12.5mm, cuando el tamaño de grano es 20µm y a medida que aumenta el tamaño de grano esta propiedad de embutición, tiende a disminuir levemente.



4. CONCLUSIONES

El recocido de láminas de acero AISI 1006 debe realizarse a temperaturas entre 650°C y 700°C, con el fin de garantizar que se obtiene altos niveles de recrystalización cuando dichas láminas están deformadas en frío, más de un 50%.

Durante los proceso de recocido de laminas de acero AISI 1006 la dureza no puede ser una variable de control, ya que esta no permite definir si la recrystalización es completa o parcial. Para tener una apreciable diferencia de durezas para materiales completamente recrystalizados, se debe comparar granos demasíadamente finos con granos muy grandes.

En tamaño de grano mínimo para lograr obtener laminas de acero AISI 1006 con altos niveles de embutición es de 20µm en adelante, pero si el tamaño de grano crece a valores muy altos esta propiedad de ductilidad bidimensional se pierde progresivamente.

5. REFERENCIAS

1. Watari, H. and H. Ona, "Characteristic features of shape defects occurring in the cold roll forming of pre-notched products." *Journal of Materials Processing Technology* 80-81 (1998), 225-231.
2. Ona, H, "Cold roll forming for high tensile strength steel sheet proposition on forming of thin spring steel sheet pipe." *Journal of Materials Processing Technology* 153-154: 247-252.
3. Zeng, G., S. H. Li, et al "Optimization design of roll profiles for cold roll forming based on response surface method." *Materials & Design* 30(2009): 1930-1938.
4. Alsamhan, A., P. Hartely, et al, "The computer simulation of cold-roll-forming using FE methods and applied real time re-meshing techniques." *Journal of Materials Processing Technology* 142((2003).), 102-111.
5. Arif, A. F. M., O. Khan, et al, "Roll deformation and stress distribution under thermo-mechanical loading in cold rolling." *Journal of Materials Processing Technology* 147(2004): 255-267.
6. Alsamhan, A., I. Pillinger, et al, "The development of real time re-meshing technique for simulating cold-roll-forming using FE methods." *Journal of Materials Processing Technology* 147, (2004). 1-9.
7. Jimbo, Y. and A. Azushima, "Effect of carbide properties of roll materials on lubricity in cold sheet rolling of low-carbon steel." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41(2001): 347-360.

8. Majzoobi, G. H., F. F. Saniee, et al, "An investigation into the effect of redundant shear deformation in bar drawing." *Journal of Materials Processing Technology* 201(2008): 133-137.
9. Ona, H., S. Ichikawa, et al. (1990). "Research into the cold roll-forming of vibration-damping steel sheet." *Journal of Materials Processing Technology* 23(2004): 7-20.
10. Serajzadeh, S, "A model for prediction of flow behavior and temperature distribution during warm rolling of a low carbon steel." *Materials & Design* 27(2006): 529-534.
11. Xinbo, L., Z. Fubao, et al, "Research on the flow stress characteristics of AISI 1006 and AISI 5140 in the temperature range of warm forging by means of thermo-mechanical experiments." *Journal of Materials Processing Technology* 122(2002): 38-44.