

# Cambios en la microestructura durante la laminación en caliente de la aleación Zn-21Al-2Cu con estructura de colada

J. Negrete, A. Torres, L. Narváez y J. Zamora  
*Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí*  
 Av. Sierra Leona 550, Col. Lomas 2a. Sección, San Luis Potosí, S.L.P., Mexico

G. Torres-Villaseñor  
*Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México*  
 Ciudad Universitaria, Mexico

Recibido el 4 de marzo de 1998; aceptado el 29 de mayo de 1998

Se llevaron a cabo pruebas de laminación en caliente en la aleación Zn-21Al-2Cu con estructura de colada continua con el propósito de establecer los parámetros del proceso, dar seguimiento a la evolución de la estructura del material durante la deformación asociada y analizar los mecanismos que operan durante el conformado. La laminación se realizó a temperaturas por encima y por debajo de la temperatura eutectoide del sistema Zn-Al (275°C) con el fin de analizar la influencia del cambio de fase. Los resultados obtenidos permiten definir las condiciones de temperatura, velocidad de deformación y cantidad de deformación por paso requeridos para obtener lámina de excelente calidad. La estructura de colada esta compuesta por 3 constituyentes que son; fase  $\alpha$  primaria, colonias de laminillas de fases  $\alpha + \eta$  —descomposición química muy cercana a la composición eutectoide— y un constituyente de características eutécticas formado por la fase  $\eta$  rica en zinc y precipitados de fase  $\alpha$  rica en aluminio. Las observaciones de la microestructura muestran la gran dificultad para eliminar la estructura de colada, ya que aun con deformaciones verdaderas mayores que 300% se tienen vestigios de la estructura de solidificación.

*Descriptores:* Transformaciones de fase; aleaciones Zn-Al-Cu; trabajado mecánico

In order to establish the process parameters for hot rolling of Zn-21Al-2Cu alloy, rolling tests were performed at temperatures above and below the eutectoid temperature of the Zn-Al system. The main goal was to observe the microstructure evolution during deformation and analyze the mechanisms taking place during rolling process. The results allow to define the temperature, strain rate and the reduction in each pass in order to get sheet of high quality. The as cast structure is formed by 3 constituents; primary  $\alpha$  phase, colonies of  $\alpha + \eta$  phases and an interdendritic constituent formed by  $\eta$  phase and  $\alpha$  phase precipitates. It is very difficult to eliminate the as cast microstructure even with true deformations bigger than 300%.

*Keywords:* Phase transformations; Zn-Al-Cu alloys; mechanical working

PACS: 81.05.-t; 81.30.-t; 81.20.Hy .

## 1. Introducción

Las aleaciones zinc-aluminio-cobre con composición química alrededor del punto eutectoide del sistema binario Zn-Al han demostrado gran facilidad para adaptarse a procesos de conformado mecánico tradicionales como la extrusión, la laminación y la forja entre otros [1-3]. En el caso de los productos laminados el mercado potencial es muy prometedor por lo que se ha diseñado un programa extenso para determinar los parámetros adecuados del proceso así como la influencia de las diversas variables que intervienen. Como parte de este programa, el presente trabajo pretende analizar la evolución de la microestructura del material durante las diferentes etapas de la laminación. Las aleaciones zinc-aluminio-cobre con composición química alrededor del punto eutectoide del sistema binario Zn-Al pueden presentar 4 diferentes tipos de microestructura según la historia térmica [2]. La presencia del cobre en la aleación provoca la aparición de 2 fases adicionales que son;  $\epsilon$  y  $\tau'$  [4]. Debido a lo extenso del programa se decidió acotar el trabajo a solamente un tipo de microes-

tructura de las 4 posibles variedades que se pueden inducir en el material, la microestructura seleccionada fue la de colada continua.

## 2. Trabajo experimental

A partir de metales puros se preparó en un horno de inducción la aleación con una composición química de 77% en peso de zinc, 21% en peso de aluminio y 2% en peso de cobre. Una vez fundido el material se procedió a solidificarlo mediante colada continua para obtener probetas para laminación cuyas dimensiones fueron; 100 mm de largo, 5 mm de espesor y 15 mm de ancho. La laminación se realizó a 3 diferentes temperaturas 300°C, 280°C y 220°C esto es ligeramente encima y abajo de la temperatura de transformación eutectoide. La velocidad de deformación utilizada se ubicó en el rango de 4 a 20 s<sup>-1</sup> y la cantidad de deformación por paso entre 20% y 50%. A medida que el espesor de la muestra laminada era reducido, se tomaron muestras con diferente grado de deformación, las cuales fueron sometidas a análisis por difracción

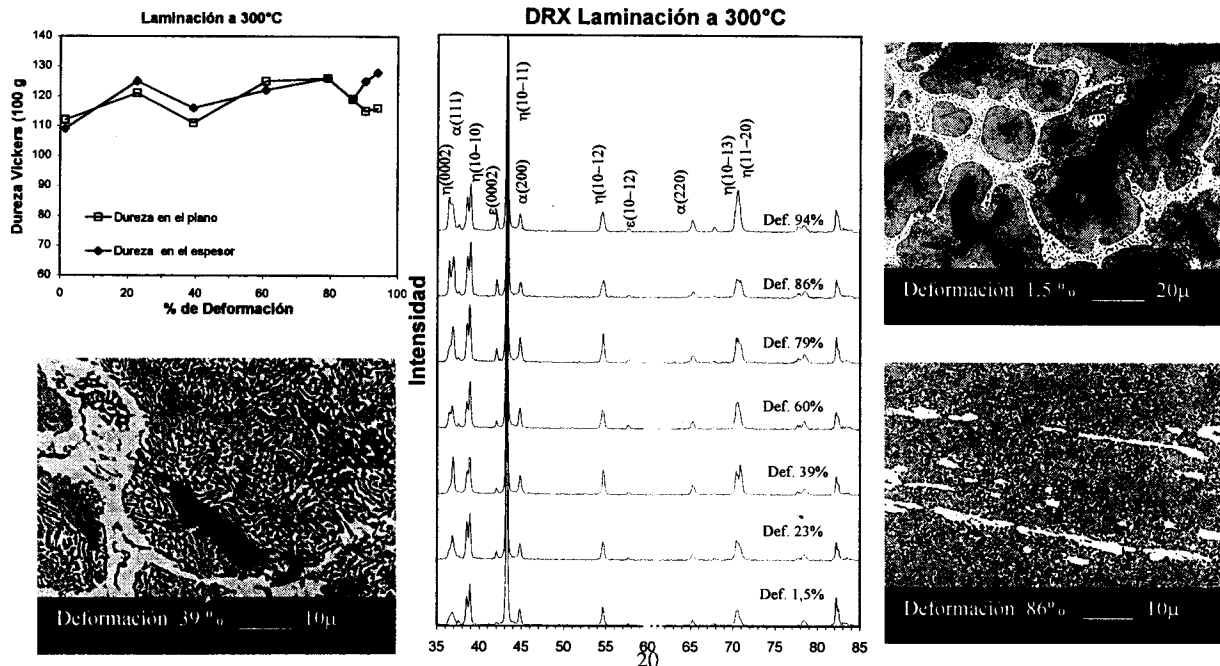


FIGURA 1. Resultados de las mediciones de microdureza, observación de la microestructura y difracción de rayos X en la aleación Zn-21Al-2Cu laminada a 300°.

de rayos X, medición de microdureza y observación en el microscopio electrónico de barrido con el fin de establecer los cambios en la microestructura.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Laminación a 300°C

En la Fig. 1 se presentan de manera global los resultados de las pruebas de microdureza Vickers, difracción de rayos X y observación de la microestructura llevadas a cabo en el material laminado a 300°C. Puede observarse que la microdureza tiene poca variación con la cantidad de deformación y que se ubica en el rango más alto reportado para esta aleación [5]. En relación a las microestructuras, es notoria la rápida absorción de la fase  $\alpha$  primaria (oscura) y la más lenta desaparición del constituyente interdendrítico (blanco). La matriz está compuesta principalmente por laminillas de fases  $\alpha + \eta$  que se generan durante el enfriamiento de la lámina al ocurrir la transformación eutécticoide  $\beta \rightarrow \alpha + \eta$  a los 275°C. En los pasos finales de laminación, la estructura de la matriz es más granular ya que por lo delgado de la lámina, el enfriamiento ocurre más rápido y en lugar de laminillas se forman gránulos de  $\alpha + \eta$ . En relación a los resultados de la difracción de rayos X, se observa que inicialmente se encuentran reflexiones que corresponden a las fases  $\eta$ ,  $\alpha$  y  $\epsilon$ , aunque las reflexiones de esta última solo se perciben ligeramente. Además el pico (0002) de la fase  $\eta$  se encuentra en un ángulo de difracción mayor porque se encuentra sobresaturada con cobre. Otros

autores la consideran una fase nueva [6]. A medida que ocurre la deformación, esta reflexión se corre hacia ángulos menores, dando lugar a la aparición de una doble reflexión, una de las cuales es la reflexión (0002) de la fase  $\eta$  no saturada con cobre y la otra, es la misma reflexión pero para el remanente de la fase  $\eta$  saturada con cobre. Además se observa la formación de  $\epsilon$  debido a que se desaloja de la fase  $\eta$  el cobre disuelto.

#### 3.2. Laminación a 280°C

En la Fig. 2 se presentan los resultados para el material laminado a 280°C. Hay una notoria disminución de la dureza conforme se aplica la deformación. Este ablandamiento es provocado por la coalescencia o engrosamiento de los constituyentes que no logran transformarse durante el calentamiento hasta la temperatura de trabajo. Las microestructuras correspondientes muestran con claridad como la fase  $\alpha$  primaria y el constituyente interdendrítico no son absorbidos por la matriz provocando la formación de una estructura bandeda. Los análisis de rayos X muestran que los constituyentes de la estructura ( $\alpha$ ,  $\eta$  y  $\epsilon$ ) se orientan preferencialmente, como puede ser observado en la Fig. 2. En esta temperatura al igual que a 300°C no se observa la fase  $\tau'$ .

#### 3.3. Laminación a 220°C

En la Fig. 3 se presentan los resultados para el material laminado a 220°C. La disminución de la dureza es más pronunciada y es evidente el engrosamiento de las colonias de per-

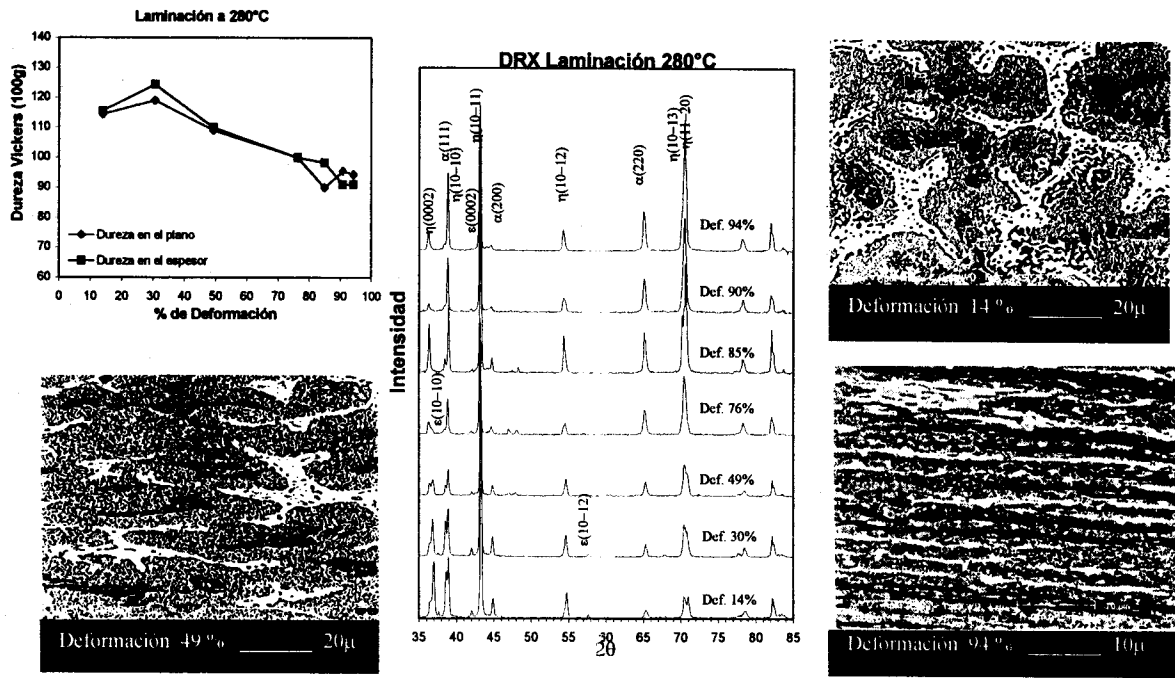


FIGURA 2. Resultados de las mediciones de microdureza, observación de la microestructura y difracción de rayos X en la aleación Zn-21Al-2Cu laminada a 280°.

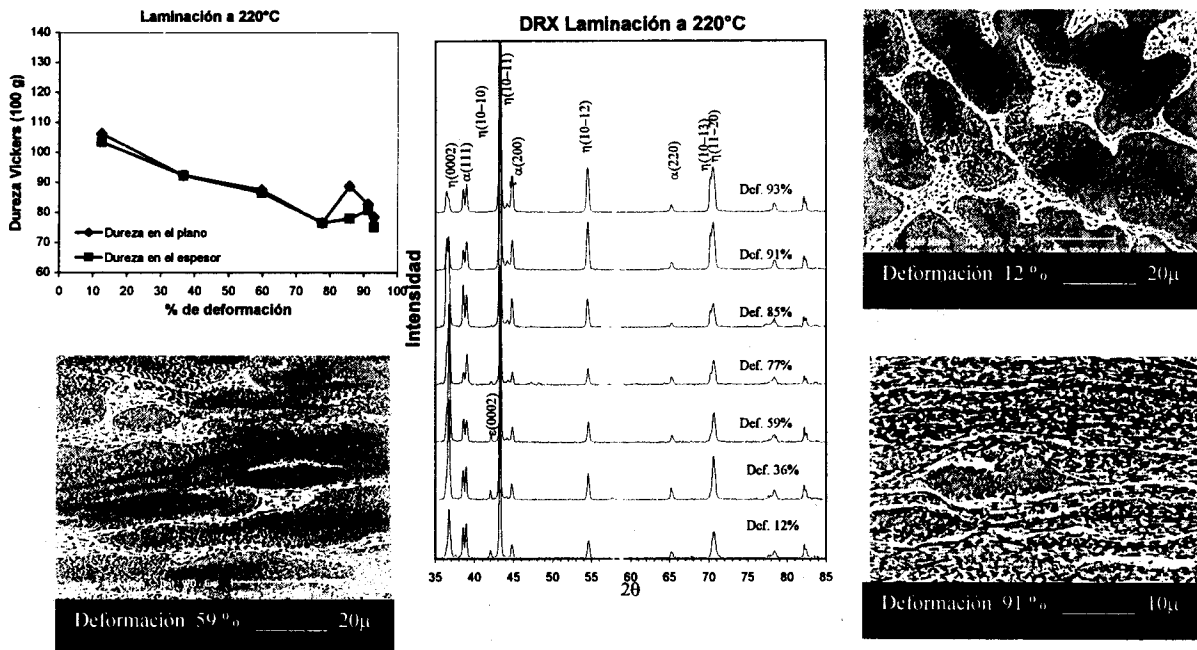


FIGURA 3. Resultados de las mediciones de microdureza, observación de la microestructura y difracción de rayos X en la aleación Zn-21Al-2Cu laminada a 220°.

lita conforme procede la deformación, esto ocurre porque durante el calentamiento no hay transformación a la fase  $\beta$ , de tal manera que los constituyentes de la estructura solamente incrementan de tamaño. Esto mismo provoca que la dureza vaya disminuyendo progresivamente con la deformación. Lo

mismo ocurre con el material laminado a 280°C, aunque en menor grado, ya que en este caso hay transformación parcial. Los análisis por rayos X muestran la presencia de fase  $\tau'$  confirmando que el trabajado mecánico a temperaturas menores a la eutectoide favorece su formación [2].

#### 4. Conclusiones

1. La estructura de colada de la aleación eutécticoide Zn-21Al-2Cu puede ser laminada en caliente sin limitaciones siempre que la temperatura esté por encima de los 220°C.
2. La homogeneización de la estructura de colada se facilita con el incremento en la temperatura de laminado aunque no se alcanzó a destruir totalmente.
3. La deformación plástica impartida durante la laminación de la aleación ocurre por deslizamiento de planos atómicos, lo cual se manifiesta por el alargamiento de las fases que componen la microestructura.
4. La difracción de rayos X muestra que durante la de-

formación plástica y por efecto del calentamiento, se provoca la formación de las fases  $\varepsilon$  o  $\tau'$ , dependiendo de la temperatura. La fase  $\varepsilon$  se forma en temperaturas superiores a la eutécticoide mientras que la fase  $\tau'$  se forma en temperaturas inferiores a dicha temperatura.

5. La laminación a temperaturas inferiores a la eutécticoide provoca orientación preferencial en la estructura.

#### Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con el apoyo del CONACyT al proyecto 1208P-A. El fondo de apoyo a la investigación en la UASLP (FAI) y dentro del convenio de colaboración académica UNAM-UASLP.

- 
1. J. Negrete, L. Valdés y G. Torres Villaseñor, *Rev. Mex. Fís.* **31** (1985) 489.
  2. J. Negrete, A. Torres y G. Torres-Villaseñor, *Memorias Del XX Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería (ANI)* (1995) 244.
  3. J. Negrete and G. Torres Villaseñor, *Mater. and Manuf. Proc.*

**10** (1995) 785

4. S. Murphy, *Z. Metallkunde* **71** (1980) 96.
5. J. Negrete, A. Torres, and G. Torres Villaseñor, *J. of Mater. Sc. Letters*. **14** (1995) 1092.
6. Y.H. Zhu and H.C. Man, *Mater and Manuf. Proc.* **12** (1997) 1149.