

UTILIZACIÓN DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO CON ESTUDIO ESTEREOSCOPIO PARA ESTUDIO COMPARATIVO DE BARRAS DE LATÓN PRODUCIDAS POR EXTRUSIÓN DIRECTA, INDIRECTA Y COLADA CONTINUA.

Gladys C. Olivares,^{a*} Rodolfo L. Mannheim^a y Jorge L. Garin^a.

^a Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Casilla Postal 10233, Santiago, Chile.

* Corresponding autor, E-mail: gladys.olivares@usach.cl

Recibido: Octubre 2009. Aprobado: Enero 2010.

Publicado: Enero 2010.

RESUMEN

La matriz energética para América latina se estima que estará basada en el uso de gas. Para esto se producen más de 3.500 Tn de barras de latón para la fabricación de válvulas por proceso de conformado y para la fabricación de piezas. Los latones en estudio son el C 37700 con diferentes porcentajes de Pb. La producción de barras por colada continua tiene un costo menor de entre un 40 a un 50% que los otros procesos productivos.

En el presente trabajo se pretende comparar con una imagen estereoscópica la fractura dúctil de un mismo material pero en diferentes procesos productivos. En la fractura tipo "panel de abeja" se puede apreciar una fuerte diferencia tanto del tipo de fractura dúctil, por la diferencia de abertura del panel, la densidad, profundidad y la distribución de plomo en las cavidades. Esta diferencia tiene una fuerte incidencia en la tenacidad del material o piezas, lo que se traduce en fallas en servicio.

Palabras claves: Latón; extrusión directa; extrusión indirecta; colada continua; imagen estereoscópica.

USING OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPY WITH STEREOCOPY FOR COMPARATIVE STUDY OF BRASS BAR PRODUCED BY DIRECT EXTRUSION INDIRECT AND CONTINUOUS CASTING.

ABSTRACT

The energy matrix for Latin America is estimated to be based in using of gas. For this there are more than 3500 brass rods ton to manufacture valves for forming process and the manufacture of parts. The studied brasses are 37700 C with different percentages of Pb. Production of bar by continuous casting will cost 40 to 50% lower in the production process. These are used as feedstock in the manufacture of valves for gas cylinders, valves, water heaters, valves for heating and cooking stoves and the gas supply in the automotive industry and many others.

In the present work is to compare with a ductile fracture with a stereoscopic image of the same material but in different production processes. In the fracture type "honeycomb" you can see a marked difference in both the ductile fracture type, the difference of the panel opening, density, depth and distribution of lead in the cavities. This difference has a strong influence on the toughness of the material or parts, which leads to breakdowns in service.

Keywords: Brass; direct extrusion; indirect extrusion; continuous casting; stereoscopic image.

INTRODUCCIÓN

Utilizando imágenes estereoscópicas se pretende comparar la fractura dúctil de un mismo material, aleación C37700 (Cu-38Zn-2Pb), pero producidas con diferentes procesos de conformado. Es decir, se comparará la fractura producida en un estudio de propiedades mecánicas, específicamente en un ensayo de tenacidad para barras producidas por extrusión directa (Ext. D) e indirecta (Ext. Ind) y colada continua (CC).

El producto base para la producción de barras por extrusión son los billet de colada continua. Los billet

son extruidos en caliente a temperatura de aproximadamente 700°C y trefilados en frío de 0.8, a 1,2 mm.

La extrusión en caliente es una única pasada: a velocidades de deformación, $\dot{\epsilon}$, entre 10 s^{-1} y $5 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$, lográndose deformaciones, ϵ , entre 2 y 5; o lo que es igual secciones finales entre 7 y 15 veces menor a la inicial.

Con la trefilación aumenta fuertemente la acritud de las barras de latones α - β . Cuanto mayor sea la deformación en frío más baja será la temperatura de recristalización [1]. Por otro lado es frecuente que las texturas de las superficies sean distintas de las texturas obtenidas en el interior del material, esto da cuenta del diferente modo de deformación. (por cizallamiento en la periferia y por deformación plana en el núcleo).

Las estructuras bifásicas o trifásicas afectan también a la ductilidad. Así en estos latones al plomo se encuentran tres fases: α , β y Pb; cuya ductilidad individual es alta (α y Pb) y presentan una ductilidad notablemente inferior cuando forman parte conjuntamente de un material trifásico.

Los latones en estudio no experimentan disminución apreciable de la dureza durante el proceso de recuperación y esta variación empieza a hacerse notoria en el proceso de recristalización. Es decir, estas aleaciones son de baja energía de defecto de apilamiento, no “*poligonizan*” y por lo tanto no se ablandan apreciablemente durante la recuperación. Además, por esta misma razón la velocidad de los recocidos continuos suele ser casi indiferente para los resultados finales de la recristalización [2].

Los tochos de barra (de extrusión directa, extrusión indirecta y colada continua) del son calentados a temperatura entre 700 y 730°C antes de forjar. Cuanto más pequeño es el grado de deformación más alta debe ser la temperatura necesaria para poder iniciar la recristalización. Por otra parte el tiempo que tiene el tocho en el horno de calentamiento continuo antes de la forja no supera los 3 a 4 minutos, por lo tanto, es imposible que se produzca un crecimiento de grano en el material a forjar. Obviamente el proceso de recristalización que ocurre en los tochos es irreversible.

Normalmente se tiende a pensar que el proceso de trefilado no tendría incidencia en la forja en caliente. No obstante, a mayor acritud de la aleación, y por lo tanto mayor número de núcleos de recristalización que se formarán, menor resulta el tamaño promedio de los granos

recristalizados al concluir la recristalización a la temperatura de 720°C.

El tamaño promedio del grano recristalizado no depende exclusivamente, de la mayor o menor cantidad de núcleos de recristalización generados por la acritud, sino también del efecto de las impurezas (para el latón estas son de Sn, Fe, Ni, Si y Al). Es decir, de los átomos de solución sólida y de los precipitados. Los átomos en solución sólida suelen retardar el avance de las superficies límites de los núcleos, debido a la interacción elástica que los átomos solutos ejercen sobre ellas, curvándolas. Los precipitados o segundas fases también obstaculizan aquellas superficies límites donde su efecto se asemeja al de alfileres y por ello es denominada “*pinning*”. Con respecto a la nucleación puede decirse que las impurezas y segundas fases precipitadas en la matriz con acritud, acelera la formación de núcleos si el tamaño de la segunda fase es suficientemente grande (del orden de varias micras), ello debido a la concentración local de esfuerzo que la deformación en frío produce sobre la matriz con acritud que rodea a la partícula. Las impurezas en cambio, retrasan la nucleación si esas segundas fases resultan muy pequeñas, porque frenan la movilidad de subgrupos de grano [2].

Las barras de colada continua presentan unas estructuras en bruto de solidificación con heterogeneidades como: estructura columnar, macro y microrechupes, sopladuras, grietas internas y heterogeneidades químicas.

El conformado en caliente - en este caso la forja - cuya finalidad primaria es configurar la forma final de la pieza, permite complementariamente, corregir algunas de las heterogeneidades físicas y químicas de la estructura de solidificación.

Así por ejemplo, el aplastamiento de los granos dendríticos a alta temperatura acerca el núcleo de los cristales a su periferia, con ello se favorece la homogenización de la estructura dendrítica, al ser menores la distancia que debe recorrer los átomos durante la difusión.

Por otra parte, la acritud conferida por la forja, si la temperatura a que se conforma es adecuada, induce a la recristalización de la estructura. Las discontinuidades internas cuando sus superficies libres; aplastadas y comprimidas entre sí por efecto del proceso de conformado; están perfectamente limpias, llegan a desaparecer.

Combinando adecuadamente la velocidad de deformación y la temperatura, se logran corregir las heterogeneidades físicas y puede lograrse además un afinamiento del grano con respecto al de la estructura bruta de solidificación.

Toda pieza forjada tiene una dirección de fibra (la cual es más nítida en piezas cuyos tochos iniciales son de colada continua) en la estructura y una anisotropía de propiedades en las direcciones longitudinal y transversal. Como consecuencia de la existencia de la fibra las características longitudinales, y en concreto la tenacidad, resulta más alta en la dirección longitudinal que en la transversal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las probetas utilizadas en el ensayo de impacto, fueron obtenidas a partir de tres trozos de cada una de las tres barras producidas en los diferentes procesos, estos se cepillaron y se dejaron en las dimensiones especificadas en la Norma ASTM E-23 [3] (las probetas para el ensayo de impacto son de 10 x 10 mm y 55 mm de largo). Como las barras en estudio tienen un diámetro de 29 mm, los trozos para la confección de las probetas de Charpy fueron realizados con material en la dirección de extrusión.

Luego las tres probetas provenientes de cada barra, fueron sometidas al ensayo de impacto en el péndulo de Charpy digital marca Tinus Olsen modelo 892. Se registra en este equipo la energía absorbida por cada ensayo, determinado un promedio para cada tipo de barra. Luego de realizada la medición se lleva al microscopio electrónico para ser observada la fractura.

Después del ensayo de impacto las probetas fracturadas se observan en el microscopio electrónica marca Jeol 5410 y

se genera con la ayuda del software *Anaglyph Maker ver1.08* la imagen estereoscópica; las que deben observarse con lentes rojo –azul.

Para realizar una mejor apreciación de la fractura, en cada una de las probetas se generó dos imágenes; una a baja magnificación 1000x, para tener una visión más amplia del comportamiento y otra a una ampliación mayor 5000x, para observar con más detalle la fractura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, las propiedades mecánicas de un material revelan su comportamiento elástico e inelástico cuando se aplica una fuerza, indicando de esta forma su adaptabilidad para las aplicaciones mecánicas, por lo tanto, parámetros de interés serían el modulo de elasticidad, resistencia a la tracción, fluencia, elongación e impacto. La morfología de la fractura tiene una relación directa con el comportamiento de las válvulas en la zona plástica [4], que luego se fabrican con este material. En la tabla 1 se observan los resultados de los ensayos mecánicos en los diferentes procesos productivos.

Tabla 1: Resultados de Ensayos Mecánicos de las Barras.

Ensayo	Ext. Directa	Ext. Indirecta	Colada Continua
Resistencia a la tracción [MPa]	436	406	367
Fluencia [MPa]	241	142	155
Elongación [%]	26	37	22
Impacto [J]	25	34	21.5

Teniendo en consideración estos resultados, se observan a continuación las imágenes estereoscópicas de las tres probetas de ensayo de impacto fracturadas, en dos aumentos diferentes.

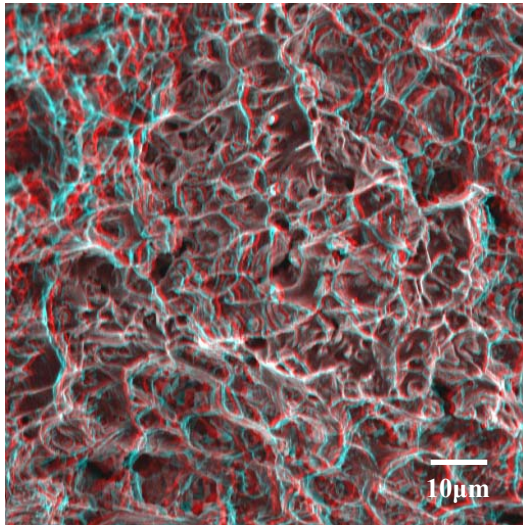


Fig. 1: Imagen estereoscópica de fractura de barra de latón producidas por Extrusión Directa, 1000x.

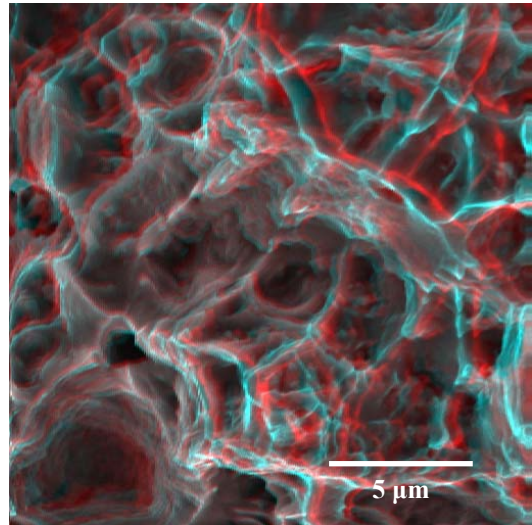


Fig. 4: Imagen estereoscópica de fractura de barra de latón producidas por extrusión Indirecta 5000x.

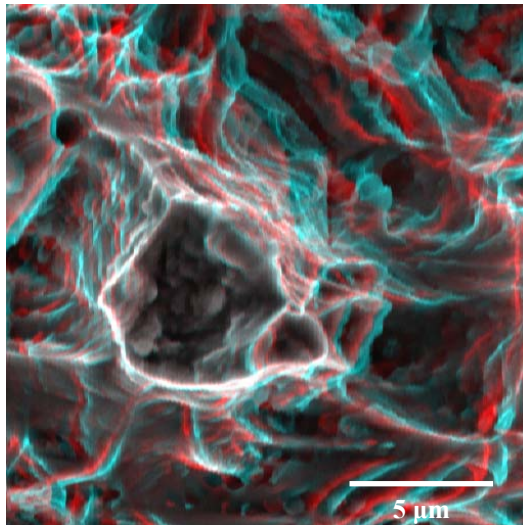


Fig. 2: Imagen estereoscópica de fractura de barra latón producidas por Extrusión Directa 5000x.

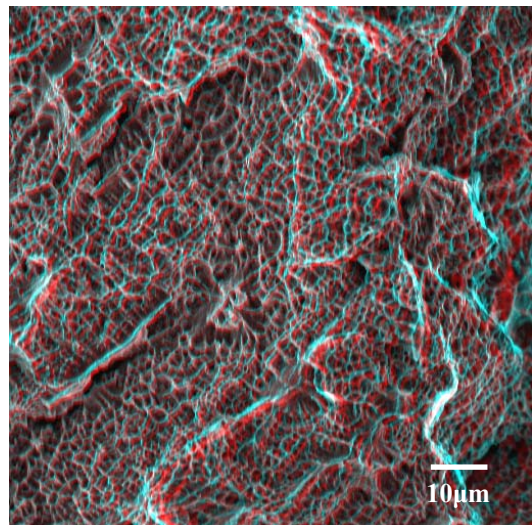


Fig. 5: Imagen estereoscópica de fractura de barra de latón producidas por Colada Continua 1000x.

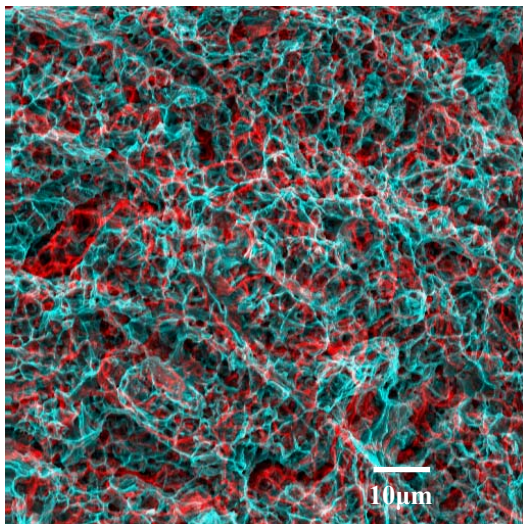


Fig. 3: Imagen estereoscópica de fracturas de barra de latón producidas por Extrusión Indirecta 1000x.

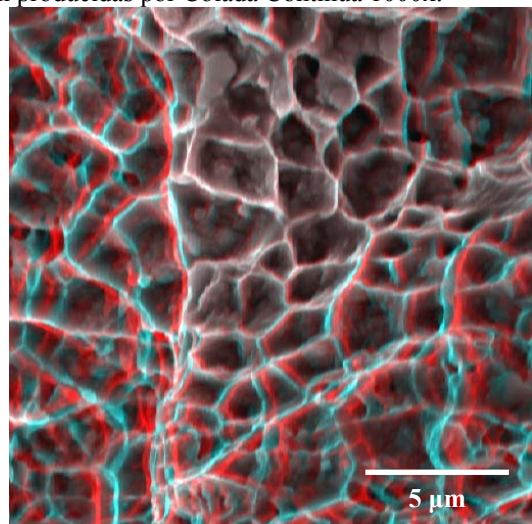


Fig. 6: Imagen estereoscópica de fracturas de barra de latón producidas por Colada Continua 5000x.

Los hoyos que se observan nítidamente en las figuras 2,4 y 6 se les denominan “*dimples*” en inglés y estructura panal en alemán “*waben*”. Frecuentemente se encuentran precipitados en los hoyuelos de la estructura panal. Naturalmente, no hay precipitados en todos los hoyuelos de la estructura. El tamaño y forma del panal puede verse influido por los precipitados, y estos últimos por la cantidad de impurezas de la aleación. En los casos estudiados las barras de extrusión directa poseen mayor cantidad de impurezas que incrementan el número de precipitados.

La profundidad de los hoyuelos es una medida de la capacidad de deformación y de la tenacidad a la fractura de la matriz. Los materiales dúctiles producen hoyuelos de gran profundidad. En el caso de los latones, este tipo de hoyuelos aumenta en la medida que el contenido de cobre de la aleación se va incrementando.

Los esfuerzos dominantes en una deformación plástica determinan el proceder de la fractura y la orientación del panal. Una simétrica distribución de tensiones normales origina panales rectos, como los observados en la figura 6. Una distribución asimétrica de esfuerzos normales produce grietas en el panal, como las de las figuras 2 y 4.

La superficie interior de los hoyuelos del panal no serán lisos en función del proceso de conformado llevado a cabo, sino que observaremos campos de líneas en su pared interior. Este efecto es más notorio en las fracturas de las barras extruidas, figuras 2 y 4.

La fractura que se observa en la probeta de colada continua, la cual no ha sufrido deformación previa, se aprecia un sistema más simétrico, en la cual se perciben los bordes de grano (figuras 5 y 6) con bajas concentraciones de líneas en el interior de los hoyuelos, pero se aprecian pequeños precipitados en el interior de estos.

CONCLUSIONES

Al hacer un análisis comparativo de la morfología de la fractura dúctil en los 3 casos nos muestra que en primer

lugar la fractura de la extrusión directa presenta un marcado relieve, junto con la fractura de la extrusión indirecta, las cuales se traducen en un rango de deformación mayor. Por otra parte la morfología de la fractura de la barra de colada continua es mucho más homogénea, fractura tipo “*panal de abeja*”, se aprecia una fuerte diferencia del tipo de fractura dúctil, por la diferencia de abertura del panal; la densidad, profundidad y la distribución del plomo en la cavidades; lo que se puede interpretar como una fractura más dúctil que presenta una zona plástica menor. Estas observaciones pueden ser confrontadas con los datos entregados en la tabla 1.

Esta diferencia tiene una fuerte incidencia en la tenacidad del material o piezas, lo que se podría traducir en falla en servicio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad de Santiago de Chile y al Fondo de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT) Proyecto n ° 1070203, por el apoyo institucional y financiero otorgado.

REFERENCIAS

- [1] Dieter, G., Kuhn H.A., Semiatin, S.L., (2003) “*Handbook of Workability and Process Design*”. 1° ed. ASM International, , pp. 292-302.
- [2] Pero-Sanz Eloz, José Antonio, (2006), “*Ciencia e Ingeniería de Materiales*”, 5° ed., editoriales DOSSAT 2000, pp. 507-525.
- [3] Para ASTM standard, visitar sitio web, www.astm.org.
- [4] Mannheim R., Garin J. y Gutierrez F. (2008) “*Estudio Comparativo de Barras al Plomo para procesos de Forja en válvulas de gas de 5 lbs.*” X CONAMET-SAM Oct. 2008, Santiago de Chile, pp. 28-31.