

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE ALEACIONES CU-AG-ZR EN CONDICION DE COMO COLADAS Y CONFORMADAS PLASTICAMENTE

Ruiz Diaz, Fernando Ezequiel; Segura, Juan Pablo; Bruno, Augusto Luis; Navarra, Alejandra Cecilia; González, Alfredo Carlos (*)

Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina

(*) Facultad de Ingeniería de La Plata (UNLP), BA, Argentina

(*). Email: algonza@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Tracción – envejecido – como colado – forjado - dureza

Resumen

En aplicaciones a elevadas temperaturas como por ejemplo en cámaras de combustión y toberas de vehículos aeroespaciales se requiere el uso de aleaciones que permitan una elevada extracción de calor y buenas propiedades mecánicas. A lo largo de los años se han estudiados varias aleaciones base cobre que cumplen con estos requisitos, entre ellas: Cu-Cr, Cu-Ag, Cu-Zr, Cu-Cr-Zr, Cu-Ag-Zr, Cu-Cr-Nb, Cu-Al₂O₃, entre otras.

En lo que respecta a la fabricación a nivel industrial de cámaras de combustión y toberas surge el interrogante acerca del método de producción a utilizar. Por un lado se propone la realización de las piezas mediante el método de fusión y colado en molde de arena, mientras que por otro lado se sugiere utilizar un proceso de conformado plástico en caliente como por ejemplo el de forja con la finalidad de romper la estructura de colada, homogeneizar las propiedades del material y soldar posibles defectos provenientes de la fusión y colada.

En este trabajo se presenta una comparación entre las propiedades mecánicas a partir de ensayos de tracción a temperatura ambiente y en caliente en aleaciones Cu-Ag-Zr en la condición de cómo colado y forjado.

Los resultados obtenidos sugieren que el material que posee un proceso de conformado plástico en caliente posee mejores propiedades mecánicas que aquel en condición de cómo colado a temperatura ambiente. Evidentemente, la ruptura de la estructura de colada, la eliminación de posibles defectos y el refinamiento de grano producido por el forjado permite mejoras en las propiedades mecánicas del material, así como también, una mejor respuesta a los tratamientos térmicos de envejecido a los que se somete a esta aleación. Por otro lado, a elevadas temperaturas la muestra fundida presenta mayor tensión de fluencia y resistencia a la tracción que la forjada, lo que podría explicarse con el cambio del mecanismo de ruptura por encima de la temperatura equicohesiva.

1. Introducción

En la cámara de combustión y tobera de lanzadores espaciales se desarrollan temperaturas que alcanzan aproximadamente los 3000 °C, estas elevadas temperaturas son producto de la reacción de combustión que ocurre entre el oxígeno y el combustible utilizado (H₂ líquido, keroseno, entre otros). Resulta necesario que el material tenga buena disipación térmica de manera que la pared interna de la pieza no supere los 600-700 °C.

En la fabricación de estas piezas se utilizan diversos métodos, los más extendidos son por fusión y colada en molde de arena con un ajuste de mecanizado final y un segundo método que consiste en un conformado plástico por forja en caliente.

Los materiales utilizados en la fabricación de la pieza deben tener buenas propiedades mecánicas en el rango de temperaturas mencionadas.

En este trabajo se comparan las propiedades mecánicas de la aleación en condición de como colado y forjado a temperatura ambiente y a 640 °C mediante la realización de ensayos de tracción a dichas temperaturas.

2. Procedimiento experimental

2.1 Obtención de la aleación

La obtención de las aleaciones Cu-Ag-Zr se inicia con el proceso de fusión de las mismas en un horno de crisol a gas, llevando adelante una fusión del tipo oxidante.

La plata se encuentra en forma de granalla y se introduce al baño líquido de manera directa ya que no existe riesgo de oxidación. El circonio se halla en forma de varillas de 2,5 mm de diámetro y 20 mm de largo. Este último se incorpora envuelto en láminas de cobre de 0,5 mm de espesor mediante la utilización de una campana para evitar su oxidación, previo desoxidado con magnesio del baño.

Se obtienen placas de 120 mm x 400 mm x 25 mm. Una parte de las mismas son cortadas en trozos de 120 mm x 80 mm x 25 mm para luego ser forjadas en caliente (900 °C) en un martinete de 200 kg con la finalidad de obtener barras cilíndricas de 20 mm de diámetro, las cuales son mecanizadas para lograr probetas para el ensayo de tracción en caliente. El material remanente en condición de cómo colado es mecanizado para la obtención de probetas de tracción.

2.2 Ensayo de tracción y tratamientos térmicos

Las probetas son tratadas térmicamente mediante un solubilizado a 950 °C durante 1 hora y templadas en agua. Luego se realiza el tratamiento térmico de envejecido a 480 °C durante 3 horas enfriando al aire.

Luego del tratamiento térmico se realizan medidas de dureza utilizando un durómetro Brinell con 62,5 kg de carga y bolilla de 2,5 mm de diámetro.

Se realizan ensayos de tracción a temperatura ambiente y a 640 °C para evaluar la resistencia mecánica de las probetas en estado forjadas y como coladas. Este ensayo se realiza mediante una máquina Instron de 200 kN la cual posee acoplado un horno Amsler a resistencia como

método de calentamiento para los ensayos a elevada temperatura. Respecto de las probetas, se adopta el modelo sugerido por el manual del horno, de 100 mm de zona calibrada y acople a la mordaza con rosca de 5/8 BSW (ver figura 1).



Figura 1. Máquina Instron y horno para ensayos de tracción (izq.) y probeta (der.).

2.3 Microscopía óptica

Las muestras en condición de forjado y como colado son preparadas para ser observadas en el microscopio óptico. La preparación de las mismas se basa en:

- Corte e inclusión de probetas en resina acrílica autocurable (Subiton®) para facilitar su manejo.
- Preparación convencional de desbaste con lija al agua y posterior pulido con pasta de diamante (6 y 1 μm).
- Ataque químico para revelar la estructura del material: como reactivo se utilizó HNO_3 50 % V/V.

3. Resultados y discusión

3.1 Ensayos mecánicos.

Previo a realizar los ensayos de tracción se aplica a las probetas el tratamiento térmico antes mencionado, obteniéndose para las muestras en condición de como colado una dureza máxima de 108,7 HB mientras que las forjadas alcanzan valores de 116 HB.

Los resultados de los ensayos de tracción se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de ensayos de tracción a temperatura ambiente y en caliente.

Condición de la muestra	Temperatura	Tensión de fluencia [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Alargamiento % en 100 mm
Como colado	25 °C	219	294	8
Como colado	640 °C	105	108	7
Forjado	25 °C	213	324	13,4
Forjado	640 °C	92	93	12,3

Como puede observarse en la tabla, a temperatura ambiente la tensión de fluencia en ambas condiciones es similar, mientras que la resistencia a la tracción es mayor en la muestra forjada, este hecho puede deberse al menor tamaño de grano en las muestras forjadas. A 640 °C las muestras forjadas poseen propiedades mecánicas levemente inferiores que aquellas en condición de como colados. Probablemente, el cambio en los mecanismos de fractura influyan ya que a estas temperaturas la deformación se produce principalmente por deslizamiento de borde de grano, siendo la forjada aquella con mayor cantidad de límites de grano. A su vez, los valores obtenidos son del orden de los encontrados en la bibliografía [1,2,3] para estas aleaciones.

En lo que respecta al alargamiento porcentual, a ambas temperaturas la muestra forjada presenta valores superiores a aquella como colada, esto se debe a la mayor uniformidad y menor segregación en la muestra conformada.

3.2 Microscopía óptica

La microestructuras de la muestra en condición de como colado y forjado se muestra en las figura 2 y 3 respectivamente.

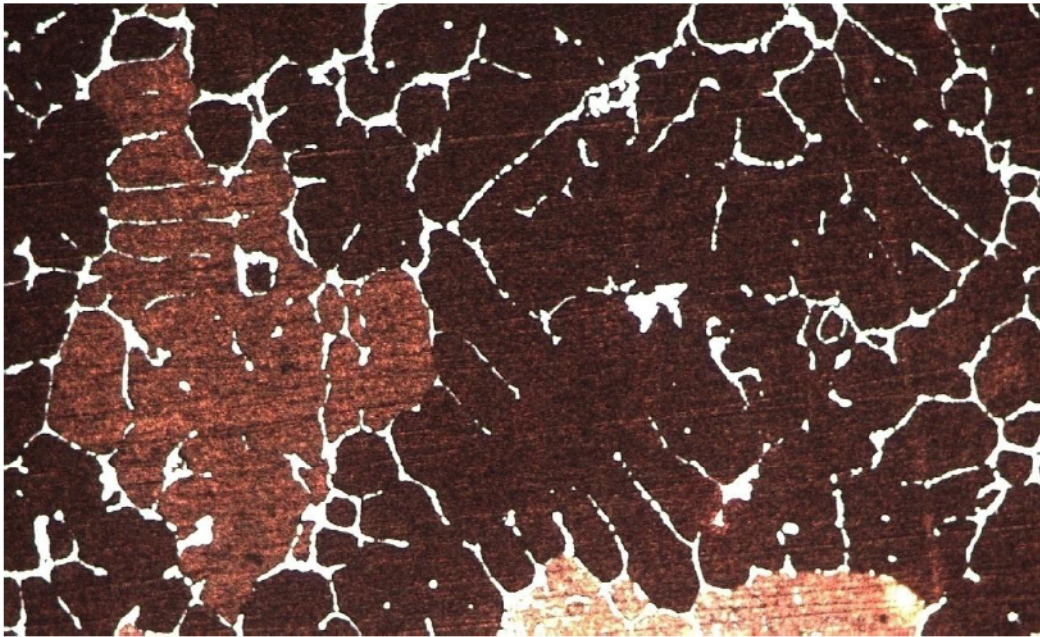


Figura 2. Muestras en condición de cómo colado. 100 X.

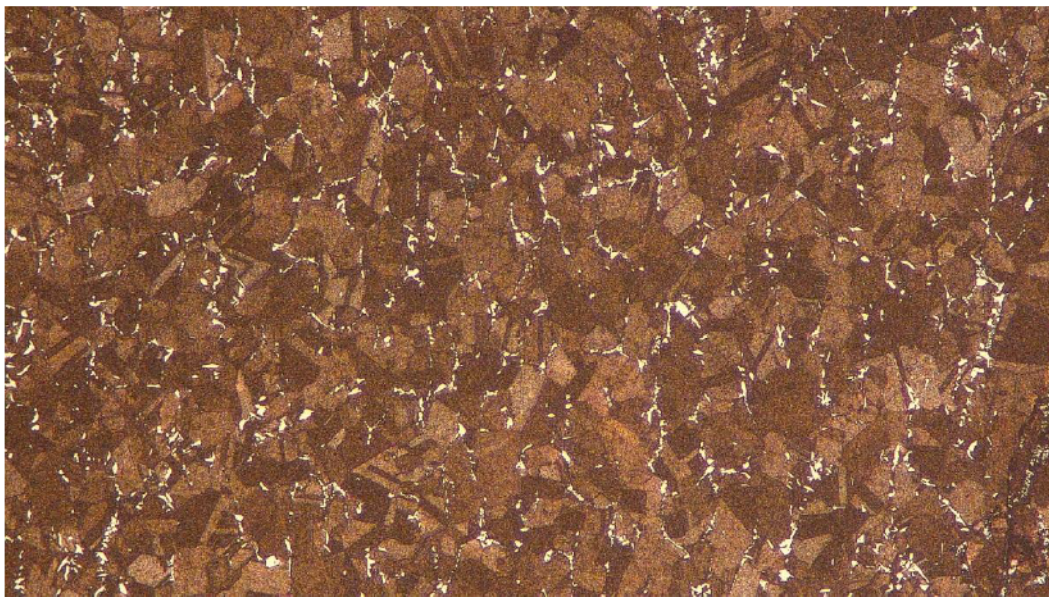


Figura 3. Muestras en condición forjada. 100 X.

En la figura 2 se aprecian las segundas fases ricas en Ag y Zr junto con granos bastos de aproximadamente $360\ \mu\text{m}$ (ASTM 0). Mientras que en la figura 3, correspondiente al material forjado se observa un grano refinado con un diámetro promedio de $32\ \mu\text{m}$ (ASTM 7), junto con maclas de recocido características de estas aleaciones. Es importante observar como parte de las segundas fases se han disuelto durante el tratamiento termomecánico y a su vez se han roto y dispersado más homogéneamente en el material.

4. Conclusión

La aleación a temperatura ambiente posee una tensión de fluencia similar tanto en la condición de como colado, como forjado. Sin embargo, la resistencia a la tracción resulta ser superior en el material forjado así como también, su alargamiento porcentual, como consecuencia del menor tamaño de grano, mayor homogeneidad y menor segregación.

A elevadas temperaturas la resistencia mecánica de ambas aleaciones es similar, siendo un poco superior en la condición de como colado, lo que podría explicarse en el cambio de mecanismo de fractura por encima de la temperatura equicohesiva, donde los límites de grano son menos resistentes que el propio grano. En este caso, el alargamiento porcentual sigue siendo mayor en la muestra forjada.

Es necesario realizar más cantidad de ensayos para así corroborar lo anteriormente expuesto.

5. Bibliografía

- [1] J.J. Esposito y R.F. Zabora. "Thrust chamber life prediction. Mechanical and physical properties of high performance rocket nozzle materials. Volume I". NASA, Marzo 1975.
- [2] S. Chenna Krishna et al. Microstructure and Mechanical Properties of Cu-Ag-Zr Alloy, Materials and Metallurgy Group, Vikram Sarabhai Space Centre. 2003.
- [3] John M. Kazaroff y George A. Repa, Conventionally Cast and Forged Copper Alloy for High-Heat-Flux Thrust Chambers, NASA, febrero 1987.
- [4] S. Chenna Krishna, NarendraKumarGangwar, Abhay K Jha, BhanuPant, Koshy M George. "Properties and Strengthening Mechanisms in Cold Rolled and Aged Cu-3Ag-0.5Zr Alloy" Materials and Mechanical Entity, Vikram Sarabhai Space Centre.