

Caracterización y estudio de una aleación Cu-Be-Co

Characterization and study of a Cu-Be-Co alloy

Presentación: 06/09/2023

G. F. Díaz

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
gustavodz15@alu.ing.unlp.edu.ar

A. L. Cozzarin

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
acozzarin@ing.unlp.edu.ar

L. Feloy

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
lefeloy@gmail.com

F. Ruiz Díaz

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
ferando.ruizdiaz@ing.unlp.edu.ar

J. L. Lacoste

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
Juan.lacoste@ing.unlp.edu.ar

D. O. Tovia

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
toviodaniel@gmail.com

C. Álvarez

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
cecilia.alvarez@ing.unlp.edu.ar

E. G. Maffia

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
Ernesto.maffia@ing.unlp.edu.ar

Resumen

La caracterización de materiales es una herramienta que permite determinar una amplia gama de propiedades como ser, su grado de resistencia y confiabilidad, así como los límites de sus posibles aplicaciones. El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como objetivo conocer las propiedades una aleación cobre-berilio-cobalto utilizando microscopía óptica y electrónica de barrido, así como ensayos de impacto y tracción. Los resultados muestran que el mismo ciclo térmico que produce una elevada resistencia también disminuye la tenacidad. Las características fractográficas de las muestras ensayadas a diferentes velocidades de aplicación de carga (impacto y tracción) permiten inferir que el aumento de la fragilidad del material puede ser identificado por las características y aspecto de las superficies de fractura de cualquiera de los ensayos utilizados. Se concluye entonces que la fragilidad está relacionada a la precipitación en bordes de grano y este proceso conlleva a la disminución de la deformabilidad del material.

Palabras clave: caracterización, Fractografía, CuBeCo, propiedades mecánicas.

Abstract

The characterization of materials is a tool that allows determining a wide range of properties such as their degree of resistance and reliability, as well as the limits of their possible applications. The development of this research work aims to know the properties of a copper-beryllium-cobalt alloy using optical and scanning electron microscopy, as well as impact and traction tests. The results show that the same thermal cycle that produces high strength also decreases toughness. The fractographic characteristics of the samples tested at different load application rates (impact and tension test) allow us to infer that the increase in the fragility of the material can be identified by the characteristics and appearance of the fracture surfaces of any of the tests used. It is then concluded that brittleness is related (possibly) to precipitation at grain boundaries and this process leads to a decrease in the deformability of the material.

Keywords: characterization, Fractography, CuBeCo, mechanical properties.

Introducción

La caracterización de materiales es un capítulo destacado de la Ciencia de los Materiales porque permite determinar las propiedades de las aleaciones. La mayoría de los materiales utilizados en aplicaciones con altos requerimientos tecnológicos (como por ejemplo piezas para la industria minera, petrolera, aeronáutica y aeroespacial) habitualmente deben cumplir con elevados requerimientos de calidad. Por esta razón, conocer las propiedades de estos materiales es de crucial importancia para mejorarlos o para determinar su utilidad en diferentes servicios, o llegar a entender los modos de falla.

Las aleaciones CuBeCo son uno de los materiales utilizados en condiciones de servicio donde se requiere una elevada resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y al desgaste. Estas propiedades expresan que estamos ante la presencia de materiales adecuados para cumplir con los exigentes requisitos. Para lograr propiedades tan sobresalientes se emplea el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación, el cual genera fases coherentes ricas en berilio que se dispersan en toda la microestructura, siendo estas las responsables de elevar la resistencia. El agregado de cobalto permite formar otras fases adicionales llamadas dispersoides, de composición (Cu, Co) Be que le confieren al material mejoras en el endurecimiento y retardan el ablandamiento en recocidos prolongados [1,4], aumentando, por tanto, su campo de aplicación. Si bien, el fenómeno de precipitación es beneficioso ya que genera un material con excelentes propiedades mecánicas, también trae aparejado algunos inconvenientes, como es la fragilización por precipitación en límite de granos. Existe evidencia de que el ciclo térmico de endurecimiento por precipitación produce un aumento de la fragilidad en algunos sistemas de aleaciones termo tratables [2,4,5].

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es caracterizar y estudiar la aleación CuCoBe para conocer sus propiedades utilizando microscopía y técnicas fractográficas.

Desarrollo

Para este estudio se emplea una aleación CuBeCo proveniente de una empresa que manufactura aleaciones base cobre en Argentina. Para determinar la composición química se utiliza, en principio, un equipo de fluorescencia de rayos X (Bruker - Titan, S1). Sin embargo, la fluorescencia no puede detectar ni cuantificar la cantidad de berilio que hay en el material, pero permite corroborar, en primera instancia, aleantes secundarios (cobalto y níquel). El equipo también informa que la aleación estudiada pertenece al grupo de aleaciones que contienen Berilio (C17XXX). Para determinar exactamente el tipo de aleación, se utiliza el método comparativo.

El procedimiento utilizado es el siguiente:

- Se cortan dos muestras de la aleación a estudiar con los debidos cuidados, debido a la alta toxicidad del berilio.

- Sabiendo que la muestra pertenece a la familia de las aleaciones cobre-berilio (según lo informado por el equipo Bruker Titan, S1) se realiza una búsqueda bibliográfica de las posibles aleaciones que cumplen con los requisitos determinados por el equipo de fluorescencia de rayos X: se encuentran 2 aleaciones que cumplen con los requerimientos: C17000 y C17200. [1]
- Las muestras se someten a ciclos de endurecimiento por precipitación propios de las aleaciones C17000 y C17200. [1, 357].
- Se grafican las durezas obtenidas de los ciclos térmicos en función del tiempo de ensayo.
- Finalmente, se analizan y comparan las curvas de endurecimiento por precipitación así como las microestructuras resultantes con aquellas de la bibliografía. [1][2]
- El resultado de las comparaciones determina que la aleación es la C17200, con una concentración de Berilio de 0.8-2% p/p.

En la tabla 1, se presentan los datos de las especificaciones de la literatura [1] y en la tabla 2, se presentan los datos experimentales recogidos de los ensayos en nuestro laboratorio.

Aleación	Temperatura de solución (°C)	Tiempo de solución (h)	Temperatura de envejecido (°C)	Tiempo de envejecido (h)	Dureza (HB)
C17000	775-800	1/2-3	300-330	1-3	320-375
C17200	775-800	1/2-3	300-330	1-3	331-375

Tabla 1. Ciclos térmicos de endurecimiento por precipitación extraídos de las especificaciones [2].

Aleación supuesta	Temperatura de solución (°C)	Tiempo de solución (h)	Temperatura de envejecido(°C)	Tiempo de envejecido (h)	Dureza (HB)	¿Coincide?
C17000	800	1	330	3	307	no
C17200	800	1	330	3	385	si

Tabla 2. Datos experimentales.

Los aleantes presentes en la aleación estudiada son comunes a la aleación C17200 y el rango de composiciones concuerda con los establecidos por la norma ASTM B196/B196-07:C17200.

Las medidas de dureza, en la escala HB se realizan según lo recomendado por la norma ASTM E 10 para aleaciones base cobre con berilio, utilizando una carga de 3000 kg y un penetrador con forma de bolilla de 10 mm de diámetro. Los ensayos de impacto se realizan a temperatura ambiente y según lo establecido por la norma ASTM E23, con un equipo marca Tinius Olsen. Las micrografías ópticas se realizan por medio de técnicas metalográficas convencionales y el reactivo utilizado es dicromato de potasio.

Resultados

Tratamientos térmicos y microscopía óptica

El estudio de la aleación requiere, inicialmente, la realización de ensayos de endurecimiento por precipitación para observar la potencialidad de la aleación CuBeCo. En la figura 1 se presentan los resultados de la evolución de la dureza ante el desarrollo del ensayo. La mayor dureza se logra alrededor de las 3 horas.

La figura 2-a y 2-b contienen las imágenes de microscopía óptica de la muestra con el tratamiento térmico completo de endurecimiento por precipitación. En la figura 2-a se presenta la micrografía del primer ciclo de recocido, realizado a 800 °C durante 30 minutos y posterior enfriamiento en agua. Este ciclo se denomina solución o solubilizado y tiene como objetivo disolver el Berilio y el Cobalto en el Cobre. Posteriormente, la figura 2-b muestra el resultado del segundo ciclo térmico con las muestras anteriores, realizado a 330 °C por un intervalo de 3 horas y

seguido de un enfriamiento al aire. Este ciclo se denomina envejecido y tiene por finalidad activar la difusión y la precipitación de fases para el aumento de las propiedades. En este caso, se observa la condición de dureza máxima.

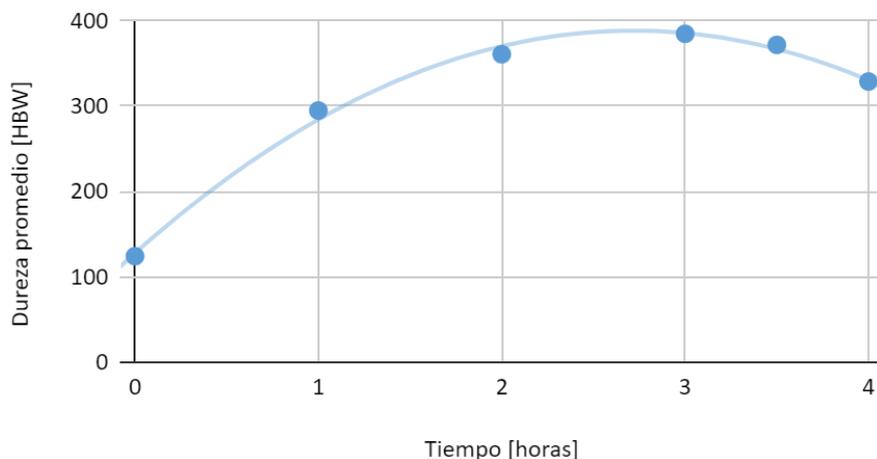


Figura 1: evolución de la dureza en función del tiempo de envejecido.

Después de aplicar ambos ciclos térmicos, el uso de microscopía óptica nos permite interpretar las siguientes características en la microestructura, la figura 2-a muestra una microestructura con maclas de recocido y partículas dispersas en toda la matriz; la literatura informa que estas partículas para la aleación C17200 son dispersoides de berilio y cobalto [6]. Por otra parte, la microestructura de la figura 2-b presenta gran cantidad de precipitados en los bordes de grano junto con la dispersión de partículas antes señalada en toda la matriz. Se observa, además, la ausencia de maclas de recocido y un cambio en la forma de los límites de grano, así como un posible crecimiento anormal de grano; este crecimiento se ha generado en la etapa de solubilizado, indicando, tal vez, un exceso en la temperatura [6].

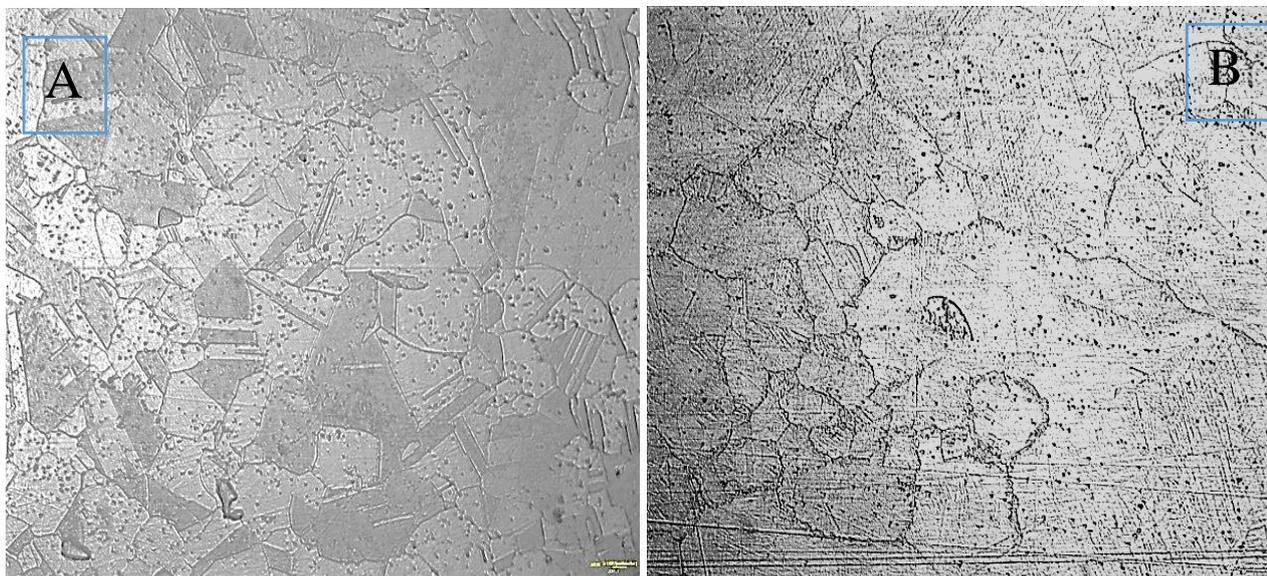


Figura 2: Micrografías obtenidas por microscopía óptica, (a) muestra solubiliza (b) después del ciclo térmico de endurecimiento por precipitación (muestra envejecida).

Ensayos de impacto

Para estudiar el efecto de la aplicación de una carga en forma casi instantánea sobre la microestructura de la aleación CuCoBe, se utilizan ensayos de impacto en muestras previamente sometidas al tratamiento de endurecimiento por precipitación.

La figura 3-a muestra la curva que representa el comportamiento del material en función del tiempo de envejecido, durante los ensayos de impacto. A medida que progresa el fenómeno de endurecimiento por precipitación disminuye la energía absorbida por el material.

Así, la muestra (de la figura 3-b) fue ensayada en la condición de máxima dureza (o sea con la totalidad de la precipitación), y exhibe una superficie de fractura con aspecto rocoso y pequeños hoyuelos cubriendo las caras de los granos. En esta situación microestructural se corresponde con un mínimo de energía absorbida por la estructura ante el impacto. El estudio de la micrografía muestra rastros inequívocos de una fractura intergranular dúctil. En estos casos las regiones de los límites de grano son zonas mecánicamente más débiles que la matriz, por la ausencia de precipitación, por lo que, la fractura seguirá una trayectoria intergranular.

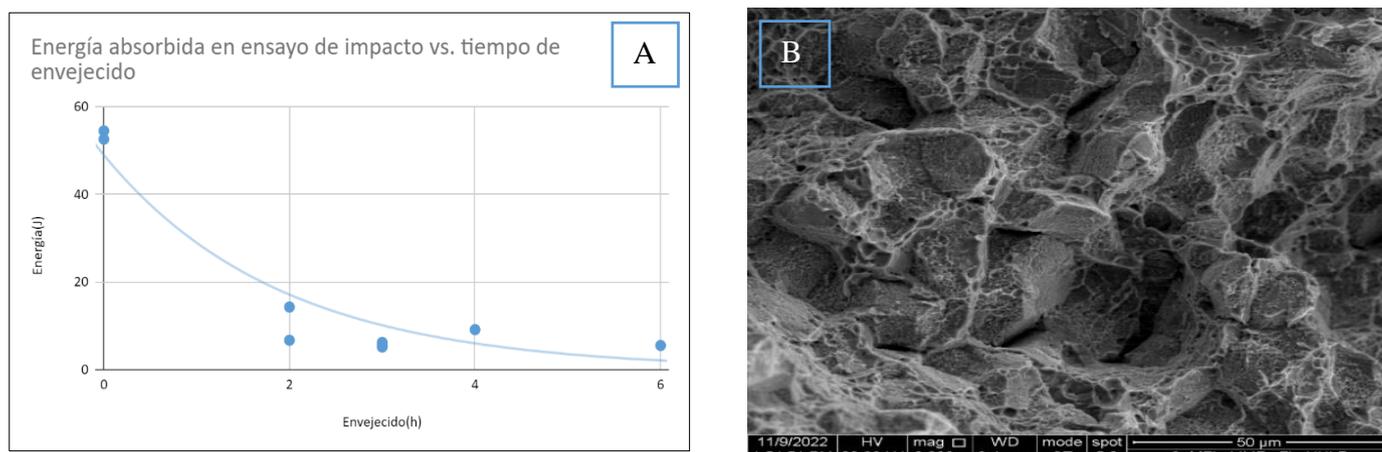
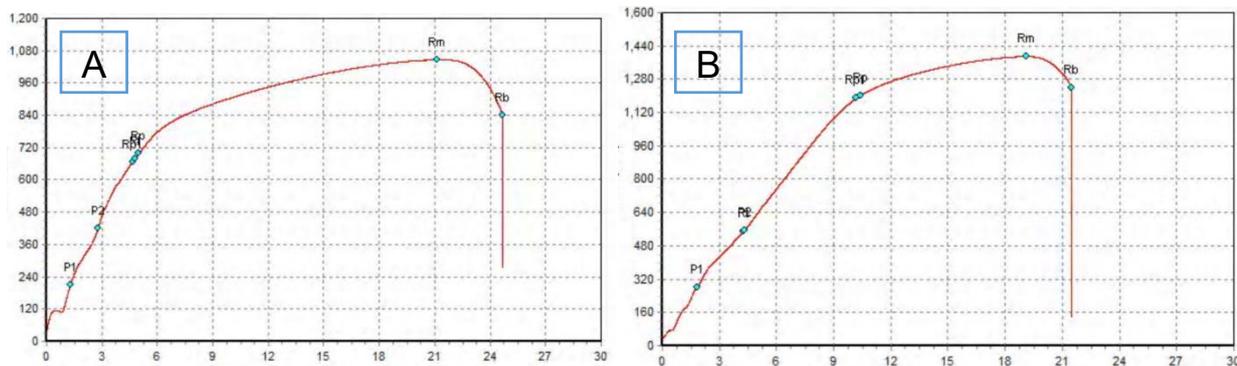


Figura 3: Aplicación rápida de la carga. (a) energía absorbida por la microestructura a medida que la precipitación avanza (b) aspecto de la superficie de fractura en la condición de dureza máxima.

Ensayos de tracción

Para estudiar el efecto de la aplicación de una carga en forma lenta sobre la microestructura de la aleación CuCoBe, se utilizaron ensayos de tracción. En la figura 4-a, 4-b y 4-c se presentan los resultados de los ensayos. Se destaca que, en la condición de máxima precipitación, la resistencia del material alcanza valores realmente elevados (1500 MPa) con una ductilidad comprometida.

El aspecto de la superficie de fractura mostrado en la micrografía de la figura 4-d, es rocoso, con rasgos de ductilidad. El estudio de la micrografía para esta condición muestra rastros inequívocos de una fractura intergranular dúctil, en apariencia muy similar a la obtenida de los ensayos de impacto. Analizando los datos de la tabla 3 vemos que la máxima dureza de las probetas de tracción vienen acompañadas de una fuerte caída en la ductilidad y esta característica se expone en la superficie de fractura, con rasgos de extrema fragilidad.



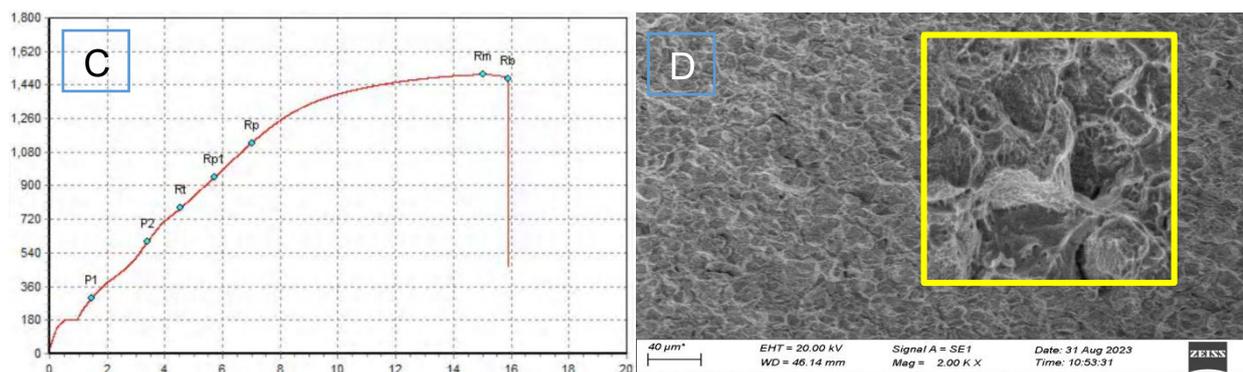


Figura 4: Se muestran las curvas de los ensayos de tracción para (a) una, (b) dos horas (c) tres horas de envejecido. A la derecha (d) una micrografía de la superficie de fractura en la condición de tres horas de envejecido.

Tiempo de endurecimiento por precipitación (horas)	tensión de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento (%) en probeta sub-size	Dureza Brinell
1	697	1090	24	233
2	1200	1390	18	290
3 (máxima precipitación)	1130	1500 (máxima resistencia)	7	356 (máxima dureza)

Tabla 3: Propiedades mecánicas relevadas en los ensayos de tracción y la dureza promedio de la muestra.



Figura 5: probetas utilizadas para los ensayos de tracción, (A) envejecida durante 1 hora, (B) 2 horas y (C) 3 horas; en esta última muestra se observa la escasa formación del cuello (proveniente de la estricción del material), lo que concuerda con la mínima ductilidad encontrada en los valores del ensayo.

Conclusiones

La caracterización de una aleación es una herramienta fundamental en la ciencia de los materiales pues ayuda a determinar las propiedades que posteriormente serán utilizadas en la selección de materiales.

Así, el resultado de este trabajo de investigación permite comprobar que la aleación Cu-Co-Be muestra una gran resistencia mecánica como resultado del tratamiento térmico de envejecido, pero al mismo tiempo, se produce una enorme pérdida en la tenacidad, tras lo evidenciado por la disminución de energía absorbida en los ensayos de impacto y el tipo de fractura (intergranular dúctil).

Observando las características fractográficas de las muestras ensayadas a diferentes velocidades de aplicación de carga (impacto y tracción), se puede indicar a medida que avanza la precipitación, también aumenta la fragilidad. Las superficies de fractura analizadas muestran el mecanismo de fragilización por precipitación en borde de grano.

Referencias

- [1] ASM International Handbook Committee. (2001). ASM Specialty Handbook, Copper and copper alloys. ASM International. ISBN: 0-87170-726-8
- [2] Alisha, S., Venkateswaran, T., Amruth, M., Chakravarthy, P., & Sivakumar, D. (2015). Effect of Heat Treatment on the mechanical Properties of Copper-Beryllium Alloy (C17200). Materials Science Forum, 830–831, 168–171. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.830-831.168>
- [3] ASM International Handbook Committee. (1987). ASM Handbook Volume 12: Fractography. ASM International. ISBN: 978-0-87170-018-6
- [4] A. K. Vasudoban R. D. Doherty. Acta metall. Vol. 35, No. 6, pp. 1193-1219, 1987.
- [5] E Hornbogen. H, Richkreye. Journal of material science, 17 (1 9 8 2) 9 7 9 - 9 8 8
- [6] ASM International Handbook Committee. (1987). ASM Handbook Volume 2: Metallography and Microstructures. ISBN: 978-0-87170-378-1