

Ensayos

El aluminio, material trascendente en la historia humana

Resumen

El texto muestra el desarrollo tecnológico del aluminio a través del tiempo, desde su descubrimiento hasta nuestros días; describe su clasificación, procesos industriales y tratamientos térmicos. Además de resaltar la importancia de los avances tecnológicos y de las investigaciones científicas sobre objetos ordinarios que nos rodean.

Abstract

This text outlines the technological development of aluminum over time, from its discovery right up until the present day. A description is given of its classification, industrial processes and heat treatments. In addition, there is a focus on the importance of technological advances and scientific research on the ordinary objects that surround us.

Résumé

Le texte montre le développement technologique de l'aluminium à travers le temps, depuis sa découverte à nos jours. On y décrit sa classification, ses procédés industriels et traitements thermiques. En plus de souligner l'importance des avancées technologiques et des recherches scientifiques sur les objets qui nous entourent.

Marco Antonio Ruiz Esparza Rodríguez¹, Carlos Gamaliel Garay Reyes², Roberto Martínez Sánchez²

Palabras clave: Aluminio; procesos industriales de conformado; reforzamiento de aleaciones; tratamientos térmicos.

Introducción

El aluminio ha contribuido al desarrollo del ser humano a través de la historia, siendo la evolución en las necesidades humanas y tecnológicas lo que permitió el desarrollo de los procesos industriales hacia condiciones inimaginables y sorprendentes.

Los primeros pasos

En los inicios de la existencia de la humanidad se requirieron instrumentos para la sobrevivencia de la misma, ya sea para la caza o para la defensa de depredadores que acechaban al hombre en aquellas épocas; para lo cual se tomaron materiales proporcionados por la naturaleza, a fin de obtener un beneficio de ellos mediante la elaboración de herramientas de trabajo o armas (Gómez J.M., 1980). El primer mineral metálico del que se tiene registro de uso por parte de las culturas antiguas es el óxido de hierro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) mezclado con arcilla; el cual se utilizaba como pigmento para las pinturas que plasmaban en las rocas, así como para la decoración. Posteriormente, el primer metal trabajado fue el cobre, aproximadamente entre los años 4000-3000 a. C., debido a que era posible trabajarlo en frío, generalmente por martillado (Rodríguez J., et al., 2006).

El aluminio fue conocido por el hombre por primera vez en 1808 pero no fue hasta 1827 que se le atribuyó el descubrimiento a Frederick Wöhler (Askeland et al., 2012). Dicho metal se obtiene de la bauxita, roca blanda formada principalmente por hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$); la cual se

¹ Universidad Tecnológica de Chihuahua Sur, Mexico.

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Mexico.

refina convirtiéndose en tipo de óxido de aluminio conocido como alúmina (Al_2O_3), que mediante una reacción química provocada por un proceso electroquímico es reducido a aluminio (Vargel C., 2004).

Debido a las exigencias cada vez más complejas de la era moderna, los metales han evolucionado en los procesos de conformado y en sus aplicaciones. A fin de satisfacer dichas exigencias, se han creado aleaciones y materiales compuestos más ligeros en peso con buenas propiedades de resistencia, desgaste y corrosión a temperaturas elevadas (Vargel C., 2004).

Importancia industrial

El aluminio es el metal más abundante sobre la corteza terrestre, y el tercer elemento más abundante después del oxígeno y el silicio (Klein C. y Hurlbut C.S., 2003). Destacado por su capacidad de resistir la corrosión y por su baja densidad, es atractivo para la industria, lo que ha hecho de este metal uno de los más importantes, tanto en cantidad como en variedad de usos, solamente superado por el hierro (Rodríguez J. et al., 2006). El aluminio se usa en forma pura, aleado con otros metales o en compuestos no metálicos. Su uso más popular es como papel aluminio, el cual consiste de una lámina con un espesor tan delgado que resulta fácilmente maleable. Además, es ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la fabricación de latas que funcionan como envases de bebidas. La relación resistencia/peso es de gran importancia en la industria aeronáutica, debido a que un menor peso implica un ahorro de combustible para la aeronave; por lo que el aluminio es muy utilizado en esta industria, ya que con un menor peso puede alcanzar una resistencia comparable con el hierro (Castro L. F., 2014). Por otro lado, la oxidación agresiva en los metales féreos es una limitante para el uso de este tipo de materiales; caso contrario es observado en las piezas de aluminio, donde la oxidación es imperceptible, ya que se forma una capa superficial de óxido de aluminio (Al_2O_3), la cual puede ser removida con un proceso de pulido ya que no se incorpora dentro de la matriz (Vargel C., 2004).

Clasificación de las aleaciones

Dado que el aluminio puro por sí sólo no posee buenas propiedades mecánicas, es aleado con otros elementos químicos generalmente mediante fundición o

aleado mecánico para mejorar dichas propiedades. Las aleaciones de aluminio a su vez se clasifican en 2 tipos, de forja y de fundición, las cuales se clasifican en función de los elementos químicos aleantes en diferentes series (Tabla 1). Para su clasificación en las diferentes series de forja y fundición son empleados 3 y 4 dígitos, respectivamente (Askeland et al., 2012).

| Aleaciones para forja: | |
|----------------------------|--|
| 1xxx | Aluminio comercialmente puro (>99% Al) |
| 2xxx | Al-Cu y Al-Cu-Li |
| 3xxx | Al-Mn |
| 4xxx | Al-Si y Al-Mg-Si |
| 5xxx | Al-Mg |
| 6xxx | Al-Mg-Si |
| 7xxx | Al-Mg-Zn |
| 8xxx | Al-Li, Sn, Zr, o B |
| Aleaciones para fundición: | |
| 1xxx | Aluminio comercialmente puro (>99% Al) |
| 2xxx | Al-Cu |
| 3xxx | Al-Si-Cu o Al-Mg-Si |
| 4xxx | Al-Si |
| 5xxx | Al-Mg |
| 7xxx | Al-Mg-Zn |
| 8xxx | Al-Zn |

Tabla 1. Clasificación de aleaciones de aluminio para forja y fundición (Askeland et al., 2012).

Fabricación de aleaciones

La fundición y la metalurgia de polvos (pulvimetalurgia) son los procesos generalmente empleados para la obtención de aleaciones de aluminio.

El proceso de fundición, Fig. 1a, es aquel en el que el metal fundido es vaciado en un molde y dejado enfriar hasta su solidificación. Durante el proceso de fundición un tema importante son las impurezas gaseosas, principalmente del hidrógeno; las cuales generan poros en las piezas fundidas, reduciendo la fluidez del metal y produciendo discontinuidad en la aleación, afectando por consecuencia las propiedades mecánicas de la pieza final (Hufnagel W., 1992). Para remover el hidrógeno se emplea un proceso de desgasificado en la masa fundida mediante el empleo de un gas inerte o de arrastre que lleva las impurezas gaseosas a la superficie y las libera (Schmid S R., 2002).

El proceso de pulvimetalurgia, Fig. 1b, es utilizado para fabricar piezas de alto nivel ingenieril que por fundición o por maquinado (torno, fresadora, taladro etc.) es imposible de conseguir; ya sea por la pérdi-

da de propiedades mecánicas que resultaría de un vaciado o la dificultad de diseñar la pieza mediante el maquinado (Marin C., 2009). Mediante la pulvimetalurgia los elementos químicos son unidos por un proceso mecano-químico para formar una aleación con 2 o más elementos; la cual será compactada a altas presiones que varían entre 300 y 400 MPa (Verlinden B. y Froyen L., 1994), y finalmente, sinterizada para que las partículas formen uniones entre ellas (Marin, C., 2009). Usualmente mediante este tipo de proceso se fabrican engranes, cadenas, herramientas de corte y cremalleras.



Fig. 1. Fundición y metalurgia de polvos de aluminio.

Procesos industriales de conformado

Los procesos de conformado comprenden un extenso grupo de procesos de manufactura, en los cuales se usa la deformación plástica para cambiar las formas de las piezas. Las herramientas, usualmente dados de conformación, ejercen esfuerzos sobre la pieza de trabajo que las obligan a tomar la forma de la geometría del dado.

Laminación

Es un proceso mediante el cual se reduce el espesor de una pieza, ya sea en frío o en caliente; cada uno teniendo sus respectivas ventajas y aplicaciones industriales. El proceso de laminación en frío (Fig. 2a) generalmente se aplica a aleaciones que no son tratables térmicamente; la reducción total alcanzada es mayor que en la laminación en caliente ya que puede llegar hasta un 90% de reducción total, llegando a un mínimo de 0.05 mm de espesor (González J. L., 1999). Para el laminado en caliente la muestra se calienta a 3/4 de la temperatura de fusión del aluminio (aprox. 500°C), la reducción alcanzada llega a un mínimo de 6 mm de espesor. Las piezas laminadas en caliente en algunas ocasiones requieren un proceso posterior de laminación en frío, para disminuir aún más el espesor de la hoja de aluminio. El efecto del laminado sobre la microestructura de una pieza de aluminio es mostrado en la Fig. 2b. La pieza antes de ser laminada

esta compuesta de una microestructura con granos equiaxiales, los cuales al ser deformados por los rodillos modifican su morfología hacia granos alargados en la dirección del laminado; enseguida, los granos deformados se someterán a un proceso de recristalización que consiste en la generación de nuevos granos en la microestructura, los que tienen idéntica composición y estructura que los antiguos granos no deformados (Ilzarbe J. P. et al., 2000).

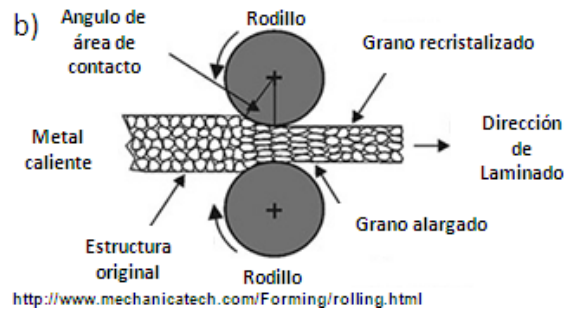
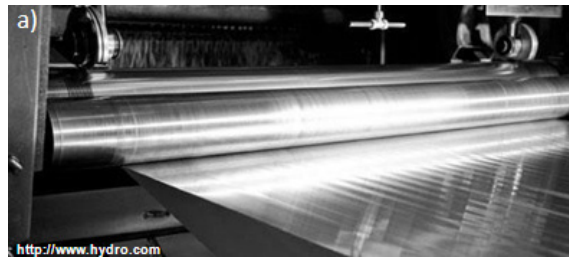
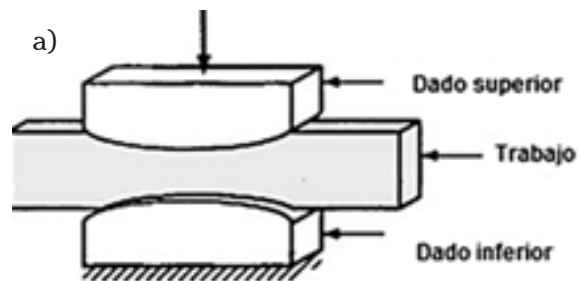
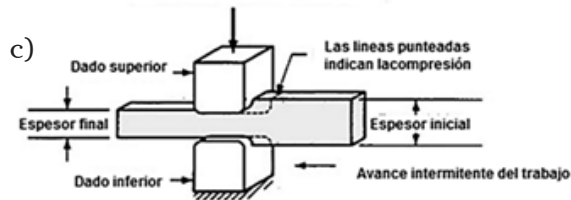
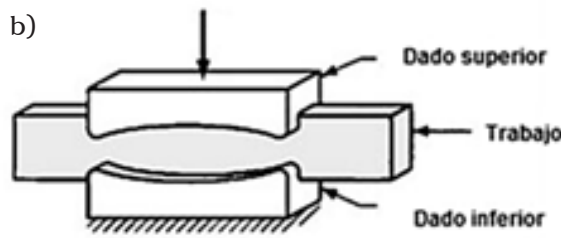


Fig. 2. a) Proceso de laminado y b) Efecto del laminado sobre los granos.

Forja

Es otro proceso comúnmente empleado en la industria; siendo el más antiguo para trabajar los metales, este proceso consiste en realizar una deformación sobre el metal mediante una fuerza de impacto o de compresión gradual (Fig. 3). Se puede llevar a cabo en frío o en caliente. Durante la forja en frío la deformación de la muestra se realiza a temperatura ambiente, y para el caso de la forja en caliente la temperatura empleada es similar a la del proceso de laminado (Morral F. R. et al., 1985).





<https://profmgodoy.wordpress.com/2013/09/20>



http://mafercan94.files.wordpress.com/2013/11/74_estampa-para-forja-de-biela.jpg

Fig. 3. Forja de aluminio: a) Dado abierto, b) Dado impresor, c) Forjado sin rebaba, y d) Dado de forja.

Extrusión

Este proceso consiste en pasar aluminio por dados mediante el empleo de presión y temperatura para obtener así la forma deseada. Este proceso conlleva altas fuerzas de presión a escalas industriales, las cuales van desde 2200 a 9000 MPa, ya que el material está reblandecido y necesita que sean ejercidas presiones elevadas para que el aluminio pase por el dado reductor y se realice la extrusión requerida (Sheppard T. 1999). Existen 2 tipos de extrusión: directa e inversa, ver Fig. 4.

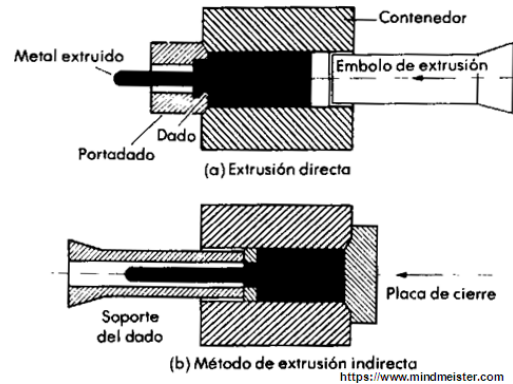


Fig. 4. Esquema de los procesos de extrusión a) Extrusión directa, b) Extrusión indirecta o inversa.

Conformado por estado semisólido

Nuevos métodos de conformado en estado semisólido como: Thixoforming, Thixocasting, Rheocasting y Thixomolding son empleados actualmente (Pineda, F. y Bustos O. 2010), ver Figs. 5 y 6. Estos procesos sustituyen mediante agitación, la morfología de los granos de dendrítica a redondeada (ver Fig. 7). El propósito de tal morfología es obtener mayores porcentajes de deformación sin la aparición de defectos generados por la morfología dendrítica (Valer J., et al. 1996).

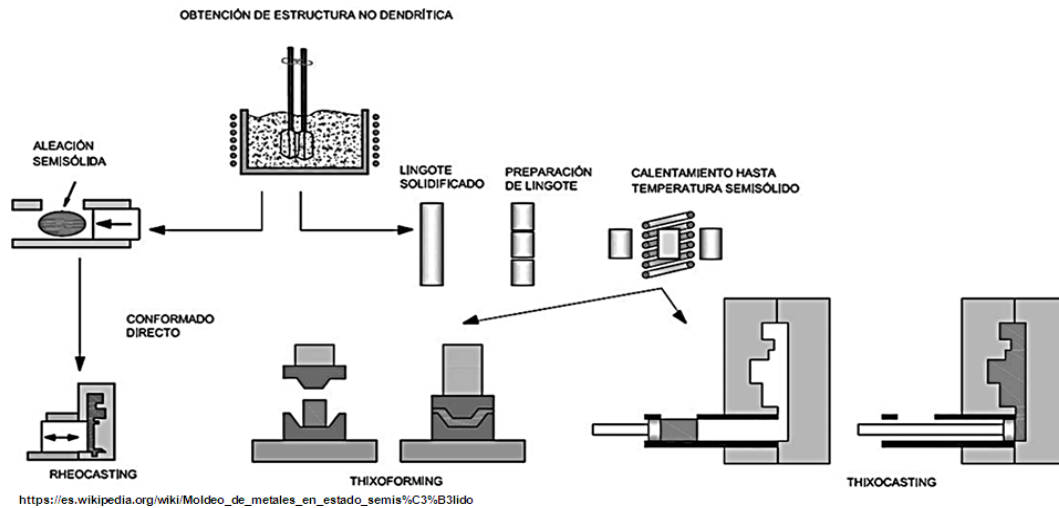
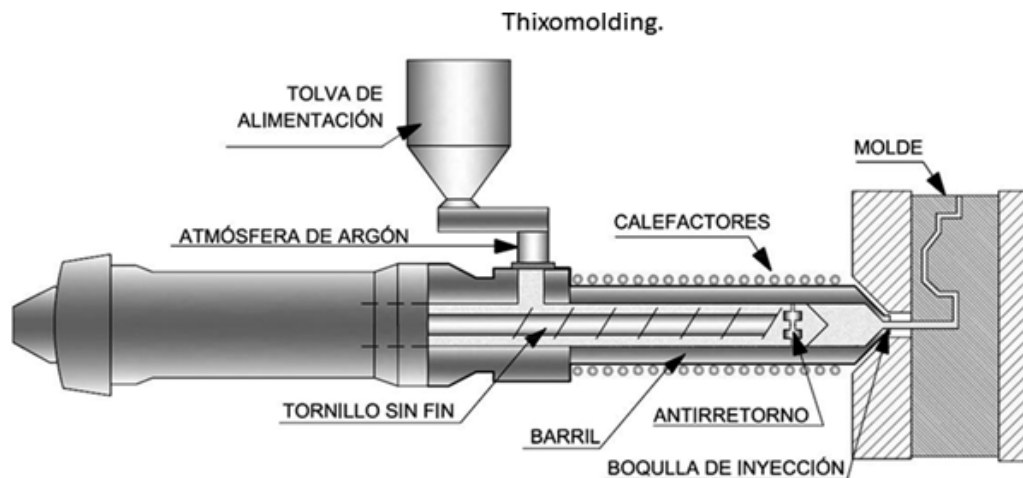
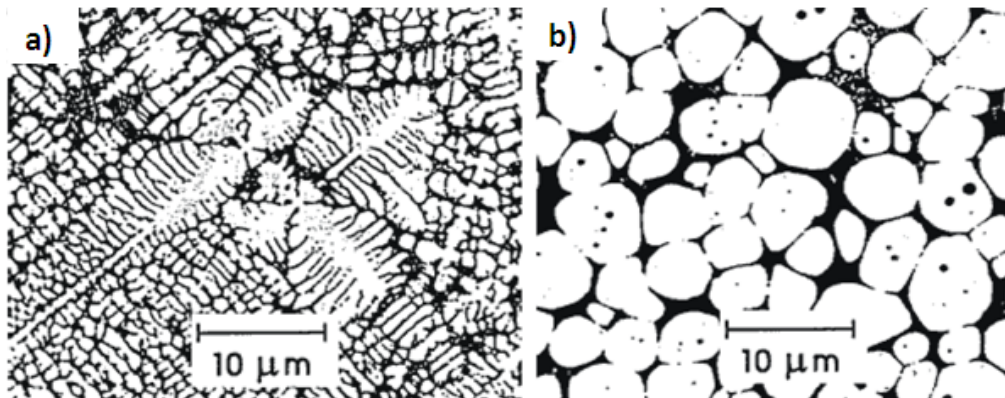


Fig. 5 Esquema de los procesos de conformado semisólido Rheocasting, Thixoforming y Thixocasting.



https://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_de_metales_en_estado_semisolido

Fig.6. Esquema de los procesos de conformado semisólido Thixomolding.



<http://www.mecheng.iisc.ernet.in/~pradip/laboratories/ssf/aboutssm.html>

Fig.7. Imágenes obtenidas por microscopía electrónica de transmisión de precipitados Al-Cu a diferentes aumentos.

Reforzamiento de aleaciones

La estructura del metal es la que definen principalmente las propiedades de los materiales, que a su vez dependen de la composición química y los tratamientos posteriores. Los mecanismos de endurecimiento son básicamente técnicas para incrementar la dureza por medio de la interacción entre partículas y dislocaciones que actúan como límites para los deslizamientos. Existen diferentes métodos de endurecimiento: por refinamiento de grano, por deformación en frío, por incorporación de solutos o partículas reforzantes y por precipitación de una segunda fase. Los principales mecanismos de endurecimiento para mejorar las propiedades mecánicas son mediante la precipitación de una segunda fase o mediante la adición de reforzantes de tamaño nanométrico ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) a la matriz; algunos tipos de reforzante son óxidos y carburos, así como la incorporación de nanotubos de carbono o metales de transición, ver Fig.8.

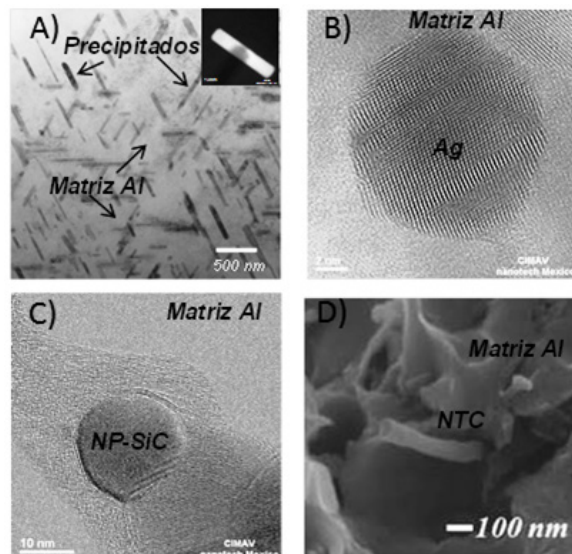


Fig. 8. Reforzamiento de aleaciones de aluminio, a) Precipitación de una segunda fase, b) Adición de nano-partículas de Ag, c) Adición de nano-partículas de SiC, d) Adición de nano-tubos de carbono (NTC).

Tratamientos térmicos

Diversos procesos de calentamiento y enfriamiento que modifican las propiedades mecánicas son asociados a los tratamientos térmicos. Siendo el objetivo de tales tratamientos proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. Se pueden realizar tratamientos térmicos sobre una parte ó la totalidad de la pieza en uno ó varios pasos de la secuencia de manufactura.

Los tipos de tratamientos térmicos son clasificados desde T1 hasta T10 (Tabla 2). En la industria los más utilizados son: T6 el cual es utilizado en partes de aeronaves dadas las altas propiedades mecánicas que se obtienen (Obando F. y Sánchez E., 2014); y T5 el cual es utilizado para piezas arquitectónicas decorativas ya que no pre-

senta grandes propiedades mecánicas sólo estéticas (DeGarmo E. P. et al. 1994). El tratamiento térmico T6 se divide en varios pasos, el primero es el tratamiento térmico de solubilizado, el cual consiste en calentar el metal a una temperatura dentro de una región monofásica del diagrama de fases y mantenerlo durante un determinado tiempo para generar una solución sólida; después se realizará el temple para obtener una solución sólida sobresaturada, y finalmente, se realiza el tratamiento térmico de envejecido, nombre dado al último paso mediante el cual se generan precipitados en la matriz (Fig. 9). Es importante mencionar que llevando a cabo los tratamientos térmicos en forma adecuada es posible controlar el tamaño y número de precipitados, y como

Tabla 2 Tratamientos térmicos del aluminio y su descripción (Askeland et al., 2012).

| Tratamientos térmicos para el Aluminio. | |
|---|---|
| Tratamiento. | Descripción. |
| T1 | Tratamiento de temple desde la temperatura de reblandecimiento y envejecido natural. |
| T2 | Tratamiento de temple desde la temperatura de reblandecimiento y envejecido natural. |
| T3 | Tratamiento térmico de solución, temple, deformado y envejecido natural. |
| T4 | Tratamiento de solución, temple y envejecido natural. |
| T5 | Tratamiento desde temperatura de reblandecimiento y envejecido artificial. |
| T6 | Tratamiento de solución, temple y envejecido artificial. |
| T7 | Tratamiento térmico de solución, temple y sobre-envejecido . |
| T8 | Tratamiento de solución, temple , deformado y envejecido artificial. |
| T9 | Tratamiento de solución, temple envejecido artificial y deformado. |
| T10 | Tratamiento de temple desde temperatura de reblandecimiento, deformado y envejecido artificial. |

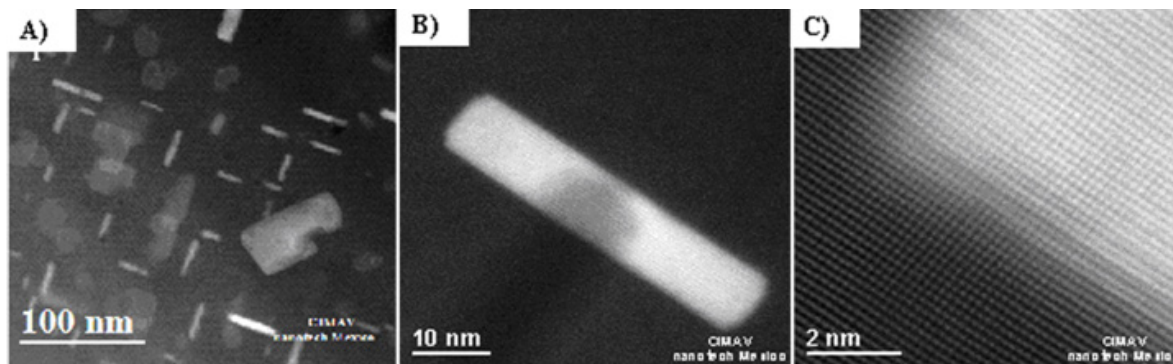



Fig. 9. Precipitados en la matriz por envejecimiento

consecuencia, controlar las propiedades mecánicas (Popov E., 2000).

Conclusión

El aluminio ha estado presente a lo largo de la historia de la humanidad y la tendencia nos indica que las aleaciones base aluminio seguirán por el camino de la innovación tecnológica e investigación científica. Se prevé un amplio uso industrial y científico de nuevas aleaciones y materiales compuestos que se encuentran actualmente en desarrollo, los cuales representan un alcance sin límites para futuros materiales con mejores propiedades, que permitan cumplir con las exigencias industriales de calidad que requieren los nuevos productos metalúrgicos en el mercado 

Bibliografía

- Askeland D., Fulay P., y Wright, W., (2012). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Sexta Edición. Mexico D.F: Cengage Learning, Inc.
- Castro L. F. (Enero 2014). Aleaciones de Aluminio y su Importancia en la Industria Aeroespacial. *Metal Actual*, 31, pp. 12-20.
- DeGarmo E. P, Black J. T. y Kohser R. A. (1994). *Materiales y Procesos de Fabricación*. Reverté S.A: Barcelona.
- Gómez J.M. (1980). *La Caza en la Prehistoria*. Madrid España: Istmo Ediciones S.A.
- González J.L. (1999). *Metalurgia Mecánica*. México D.F: Limusa.
- Hufnagel W. (1992). *Manual de aluminio Segunda Edición*. Barcelona: Reverté S.A.
- Ilzarbe J. P., Faustmann J. y Suárez A. (2000). Recristalización de bandas de aluminio procedentes de colada continua, laminadas en frío. *Revista Metalurgia*, 36(6), pp. 594-604.
- Klein C., y Hurlbut C.S. (2003). *Manual de mineralogía*, Volume 2. Barcelona: Reverté S.A.
- Marin C. (2009). Pulvimetalurgia En Busca De Nuevos Materiales. *Metal Actual*, 14, pp. 4-9.
- Morral F. R, Jimeno E. & Molera P. (1985). *Metalurgia General*. Barcelona: Reverté S.A.
- Obando F. y Sánchez E. (Enero 2014). Tratamientos Térmicos para Aluminios. *Metal Actual*, 31, pp. 36-43.
- Pineda, F & Bustos O. (2010). Proceso de conformado metálico en estado semi sólido. *ReMetallica*, 18, 46-53.
- Popov E. (2000). *Introducción a la mecánica de sólidos*. New Jersey: Prentice Hall.
- Rodríguez J., Castro L. y Del Real, J.C. (2006). *Procesos industriales para materiales metálicos*. Madrid España: Vision Net.
- Schmid S R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación.
- Sheppard T. (1999). *Extrusion of aluminium alloys*. Netherlands: springer science+business media dordrecht.
- Valer J., Rodríguez J. M., y Urcola J.J. (1996). Conformado de aleaciones en estado semisólido. Aplicación a aleaciones hipereutécticas de Al-Si. *Revista de Metalurgia*, 32(4), pp. 905-918.
- Vargel C. (2004). *Corrosion of Aluminium*. Kidlington, Oxford: Elsevier Ltd.
- Verlinden B. y Froyen L. (1994). *Aluminium Powder Metallurgy*. TALAT Lecture 1401.