

Aleación Al-Si-Cu-Mg Modificada por Tratamientos Térmicos con una Etapa Prolongada de Envejecido

Al-Si-Cu-Mg Alloy Modified by Heat Treatments with a Prolonged Aged Stage

Álvarez, Mayra^{1*}; Valdés, Eduardo²

¹Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, México.

²División de Estudios de Posgrados de Investigación, Instituto Tecnológico de Saltillo, México.

*alvarez-m@uadec.edu.mx

Resumen

La aleación de aluminio tipo 319 contiene silicio, cobre, magnesio y otros elementos en baja proporción, dentro de las principales aplicaciones de esta aleación se encuentran la fabricación de cabezas de motores para automóviles y que debido al avance de la tecnología en el ámbito automotriz se requieren aleaciones con elevadas propiedades mecánicas. La aleación que se usó en esta investigación tiene un alto contenido de silicio (8%) y se realizaron tratamientos térmicos con un envejecido de 1000 horas para estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la aleación.

Los resultados de las propiedades mecánicas fueron 238MPa en muestras templadas en aire y 225MPa en muestras templadas en agua para esfuerzo último a la tensión. 120MPa de esfuerzo de cedencia para ambas muestras. El porcentaje de elongación fue de 6.4% en muestras templadas en aire y 6.6% de muestras templadas en agua. La dureza Brinell se mantuvo en 75HB para muestras templadas en aire y 72HB en muestras templadas en agua.

Estos resultados que se obtuvieron demuestran la influencia de las variables de tratamiento térmico y la composición química sobre las propiedades mecánicas de las aleaciones aluminio-silicio y expone el comportamiento de esta aleación en los productos ya ensamblados en los automóviles.

Palabras claves: Aleaciones, Aluminio, Propiedades Mecánicas, Tratamiento Térmico, Aluminio-Silicio

Abstract

The aluminum alloy type 319 contains silicon, copper, magnesium and other elements in low proportion, within the main applications of this alloy is the manufacture to heads of motors for automobiles and that due to the advance of the technology in the automotive field are require alloys with high mechanical properties. The alloy used in this research has a high content of silicon (8%) and the heat treatments with an aging to 1000 hours to study the behavior of the mechanical properties of the alloy.

The results of the mechanical properties were 238 MPa in samples tempered in air and 225MPa in water for ultimate stress. 120MPa yield stress for both samples. The percentage of elongation was 6.4% in samples tempered in air and 6.6% in samples tempered in water. Brinell hardness was maintained at 75HB for samples tempered in air and 72HB in samples tempered in water.

These results that were obtained demonstrate the influence of the heat treatments variables and chemical composition on the mechanical properties of the aluminum silicon alloys and exposes the behavior of this alloy in the products already assembled in the automobiles.

Keywords: Alloy, Aluminum, Heat Treating, Mechanical Properties, Aluminum-Silicon

1 Introducción

Los requerimientos de la industria en los materiales exigen que sean ligeros y resistentes en los cambios de temperatura, por lo que las innovaciones más recientes de las aleaciones de aluminio están enfocadas en su composición química, proceso de vaciado y métodos de tratamientos térmicos (Hatch 1984). Las aleaciones de aluminio se caracterizan por su bajo peso, excelente conductividad térmica, conductividad eléctrica, buena resistencia a la corrosión. Además tienen propiedades mecánicas altas cuando es aleado y tratado térmicamente (Totten y col., 2003). Por estas propiedades las aleaciones de aluminio son usadas en diferentes industrias como la aeronáutica, aeroespacial, automotriz, de construcción, en empaques de alimentos y bebidas (Nguyen 2005). En la industria automotriz las aleaciones se usan en la fabricación de piezas vaciadas como cabezas, pistones, monobloques y componentes estructurales (Askeland 1999). En la fabricación de componentes en motores de combustión interna se utiliza la aleación tipo 319 en motores de gasolina que requiere aumento de la densidad de potencia y es necesario mejorar las propiedades mecánicas de estas aleaciones, en la Tabla No. 1 se muestran las propiedades mecánicas típicas de la aleación. De acuerdo a estas necesidades se desarrollo la obtención de resultados que indiquen la correlación entre las propiedades mecánicas y tratamiento térmico con un envejecido prolongado. Esta información es esencial para alimentar modelos computacionales, establecer las bases en la mejora de aleaciones para procesos de vaciado (Fleming y col., 1985) y optimizar los parámetros de tratamiento térmico mediante el estudio de las propiedades mecánicas que resultan de diferentes tiempos de envejecido. Debido a esto los retos presentes en la industria automotriz es seguir integrando tecnologías para facilitar la producción de piezas que nos proporcionen un mejor desempeño (Shivkumar y col., 2012).

Tabla 1: Características mecánicas de la aleación 319 (Esparza, 2005).

Temperatura (°C)		Tiempo (hrs)	σ_t (MPa)	ϵ_t (%)	Q
Solución	Envejecido				
-	-	-	229.1	1.64	261.3
480	210	2	340.4	0.75	321.7
		4	327.3	0.70	304.1
	230	2	297.8	0.77	280.7
		4	284.1	1.10	290.3
490	210	2	349.0	0.64	319.9
		4	336.4	0.68	311.2
	230	2	291.2	0.75	272.4
		4	240.9	0.47	191.7

2 Marco Teórico

2.1 Generalidades del aluminio

El aluminio es el metal no ferroso de mayor consumo en el mundo, el consumo primario es de un 75% que es aluminio extraído del mineral y un 25% de consumo secundario de aluminio derivado del procesamiento de chatarra también es el metal más abundante en la corteza terrestre por lo tanto es el metal estructural de mayor abundancia. El aluminio metálico no se encuentra en la naturaleza, se presenta en óxidos hidratados o silicatos (arcillas) es extraído de la bauxita en trópicos y países del mediterráneo.

2.2 Clasificación de las aleaciones de aluminio

La Asociación del aluminio de los Estados Unidos desarrolló un sistema de designación para las aleaciones e indicar que tratamiento térmico o mecánico se le ha aplicado. Las aleaciones de aluminio se dividen en dos clases, según la forma en que han sido procesadas: aleaciones de aluminio para trabajo mecánico y aleaciones de aluminio para vaciado. Las aleaciones de aluminio para trabajo mecánico son utilizadas para fabricar productos mediante distintos procesos de formado partiendo de lingotes previamente vaciados. Y las aleaciones de aluminio para vaciado están especialmente diseñadas para fluir con cierta facilidad dentro de un molde y así obtener productos cuya forma final será prácticamente la obtenida del vaciado.

2.3 Tratamientos Térmicos

Un tratamiento térmico se refiere al calentamiento y enfriamiento de los metales en estado sólido para modificar sus propiedades mecánicas y su estructura metalográfica o eliminar tensiones residuales. El tratamiento térmico de las aleaciones aluminio-silicio-cobre-magnesio se realiza por que estas aleaciones son endurecibles por precipitación lo que da como resultado un incremento en las propiedades de resistencia y dureza. La secuencia principal de los tratamientos térmicos se compone de tres etapas: solución, temple y envejecido. La etapa de solución consiste en calentar las piezas a la temperatura correspondiente según la aleación y se mantiene a un tiempo determinado para que los constituyentes entren en solución sólida y posteriormente se enfría rápido para mantenerlos. La etapa de temple tiene el propósito de suprimir la formación de la fase de equilibrio Mg_2Si durante el enfriamiento y retener la máxima cantidad de silicio para formar una solución sólida sobresaturada a baja temperatura, el medio de temple y el intervalo de temple son parámetros que controlan la efectividad de este tratamiento. Es la última etapa del proceso de endurecimiento por tratamiento térmico que consiste en mantener la aleación a una cierta temperatura durante un tiempo sufi-

ciente para que ocurra la precipitación de átomos de soluto en forma de fases metaestables finamente dispersas.

3 Procedimiento Experimental

3.1 Obtención de piezas con aleación 319 alto silicio

La composición de la aleación 319 con alto silicio esta dentro de los parámetros establecidos (Shankar y col., 2004), fue fabricada en un horno de gas marca Thermtronix tipo basculante, modelo GT-600, capacidad de 270 kilogramos. Las piezas se vaciaron en moldes de arena sílice con una templadera de hierro que permitió diferentes velocidades de enfriamiento y se utilizó un filtro cerámico para evitar el paso de inclusiones (Shankar y col., 2004).

Se obtuvieron piezas de aluminio tipo 319 a las que se retiró el sistema de alimentación, la mazarota de la pieza (Figura 1); finalmente se cortaron en 37 secciones que corresponden a diferentes niveles de la pieza y que se muestran en la Figura 2. Estas secciones se usaron para obtener las muestras en forma de probetas para que se evaluaran las aleaciones mediante de las pruebas mecánicas.



Figura 1: Molde de arena que se uso para vaciar las piezas.

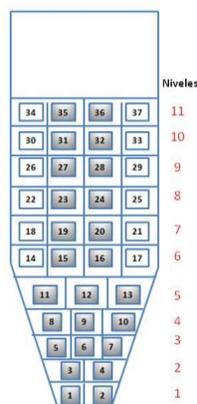


Figura 2: Esquema de la pieza con el número de secciones y niveles.

3.2 Tratamientos térmicos

Para realizar el tratamiento térmico las muestras fueron calentadas en muflas Barnstead Thermolyne modelo 30400, además se introdujeron en los hornos termopares tipo K que fueron colocados para monitorear la distribución de temperaturas dentro de los hornos durante los tratamientos térmicos (Gruzleki y col., 1990). El tratamiento térmico aplicado a las muestras fue T6 y consistió en una solución a 490°C por 5 horas, temple en agua a 90°C y aire a temperatura ambiente. (Brooks 1982) Y un envejecido de 230°C por 1000 horas, las etapas del tratamiento T6 se puede observar en la figura 3.

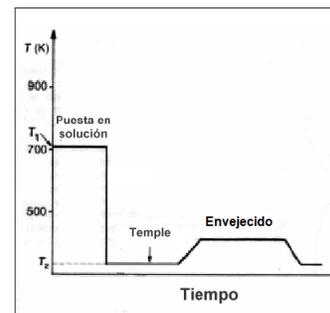


Figura 3: Etapas del tratamiento térmico T6.

3.3 Pruebas mecánicas

Las pruebas se realizaron para obtener la resistencia de la aleación mediante pruebas mecánicas de tensión y dureza. La prueba de tensión se hizo de acuerdo a la norma ASTM EBM-94 (figura 4) y B57M-94 (figura 5) (Urrutia 2010, Bustillo 2010, Salinas 2010) en una máquina Zwick-Roell modelo Z100 que tiene una celda de carga de 100 KN, sus mordazas son tipo cuña y el extensómetro también es Zwick-Roell, modelo BTC-EXMACRO-001, con una velocidad de desplazamiento de los cabezales a 5 mm/min.

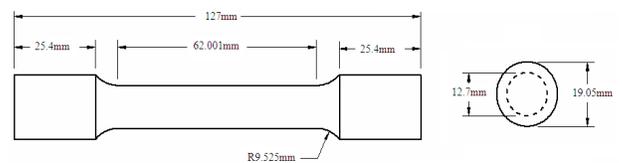


Figura 4: Esquema de la probeta según la norma ASTM EBM-94 (ASTM, 2000).

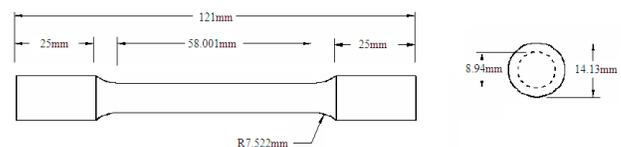


Figura 5: Esquema de la norma ASTM B57M-94 (ASTM, 2000).

La prueba de dureza fue Brinell y las muestras se obtuvieron de las probetas que ya se habían ensayado, en la Figura 6 se muestra la sección que se midió. La prueba se realizó en un Durometro Wilson modelo BRINQ-9951 con capacidad de 500kg, las indentaciones se midieron en el estereoscopio Olympus modelo SZH10 y para el análisis de imágenes se utilizó el programa Clemex Vision.

4 Discusión y Resultados

4.1 Composición química

Aleación 319 de aluminio tuvo una composición química de 8% de silicio y otros elementos que garantizó que los elementos estaban en cantidades exactas cumpliendo con las características de la aleación (McDonald y col., 2004), garantizando que los elementos estén en cantidades exactas cumpliendo con las características requeridas.

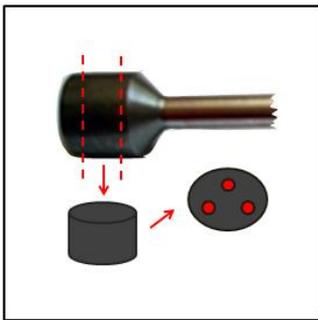


Figura 6: Esquema que representa la sección para la medición de dureza.

4.2 Pruebas mecánicas

Los valores del esfuerzo último a la tensión, esfuerzo de cedencia, dureza y el porcentaje de elongación en piezas vaciadas se ubicaron en la condición establecida para los productos de aluminio (Kutokum y col., 2008).

Esfuerzo último a la tensión resultó 238MPa para muestras templadas en aire y 225MPa templadas en agua representando valores máximos del esfuerzo que se puede aplicar en el material antes de la estricción (Moller 2008). En la Figura 7 se aprecia el comportamiento de las muestras durante el incremento del tiempo de envejecido al experimentar un descenso en las propiedades mecánicas y los valores tienen una diferencia de 2.9MPa con el tratamiento estándar para la aleación con un envejecido de 4 horas.

En el esfuerzo de cedencia se obtuvieron datos del esfuerzo de cedencia son de 120MPa para ambas muestras templadas en aire y agua demostrando la resistencia del material en el inicio de la deformación al ser sometido al esfuerzo. El valor del esfuerzo de cedencia disminuye al incrementar el tiempo de envejecido, como se muestra en la Figura 8.

El porcentaje de elongación total experimentó el aumento de longitud en porcentaje durante la prueba de ten-

sión y en el temple en aire las muestras tuvieron un 6.4% y 6.6% en un temple en agua. El envejecido prolongado aumenta el porcentaje de elongación de las muestras se muestra en la Figura 9.

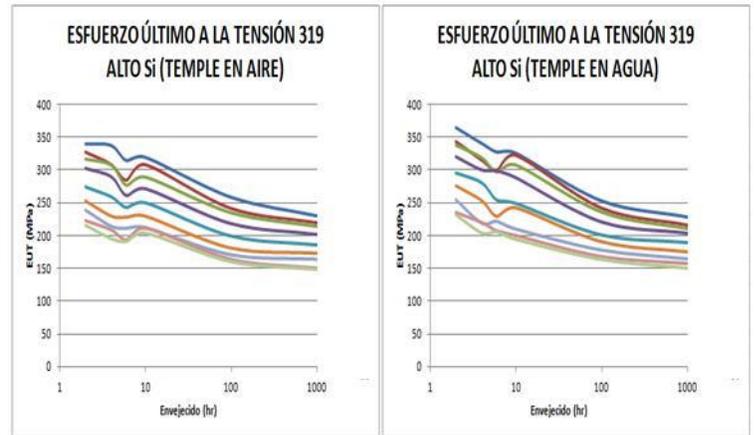


Figura 7: Esfuerzo último a la tensión en medios de temple diferentes.

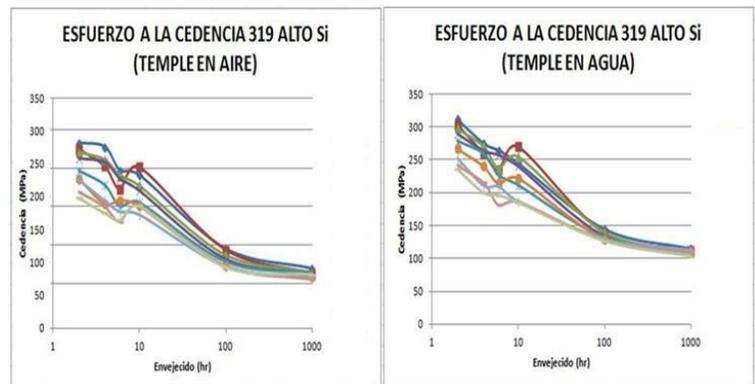


Figura 8: Esfuerzo a la cedencia en diferentes medios de temple.

En la medición de dureza Brinell se obtuvieron valores de las muestras según el medio de envejecido y fue de 75HB en aire y 72HB en agua (Figura 10), en la figura se analizó que los valores mínimos se encuentran en el envejecido a 1000 horas.

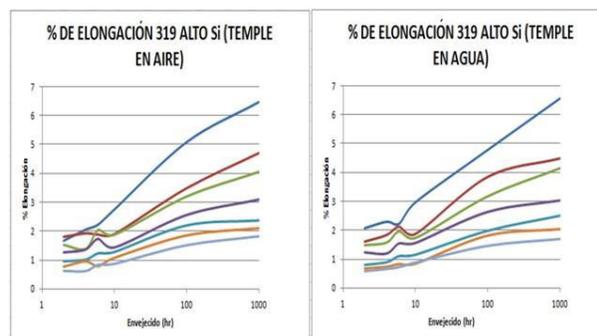


Figura 9: Porcentaje de elongación en diferentes medios de temple.

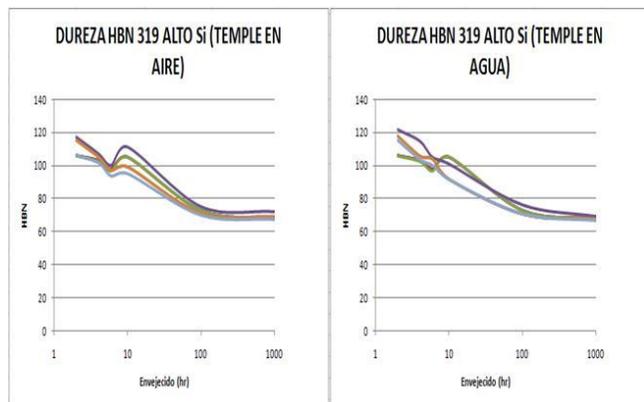


Figura 10: Dureza Brinell en diferentes medios de temple.

5 Conclusiones

Las propiedades mecánicas se mantienen en valores altos y experimentan un decremento a las 1000 horas de envejecido que se encuentran en el rango de valores de las propiedades mecánicas típicas de la aleación. La información que se aportó se puede aplicar como referencia para fijar parámetros de operación en la fabricación de piezas vaciadas.

En los resultados se observa que los valores disminuyen a las 6 horas de envejecido y al aumentar a 10 las horas de envejecido las propiedades mecánicas aumentan hasta estabilizarse, es recomendable analizar las muestras para comprobar la formación de precipitados y justificar este comportamiento.

Referencias

- Askeland D, 1999. Ciencia e ingeniería de los materiales International Thomson Editores, 3^o edición, 680-690.
- Brooks C, Heat treatment, structure and properties of non-ferrous alloys, American Society for Metals. 95-114.
- Esparza J, 2005, Propiedades y características de una aleación de colada de aluminio, Ingenierías FIME UANL, Vol. VIII No.29.
- Flemings MC, Kattamis TA, 1985, Dendrite arm spacing in aluminium alloys, AFS Transactions, 91-176.
- Gruzleski JE, Closset BM, 1990, American Foundry Society Inc., The treatment of liquid aluminium-silicon alloys, 120-176.
- Hatch J, 1984, American Society for metals, Aluminium: Properties and physical metallurgy, 8^o edition, 320-346.
- Kutunkum S, Songkhla HY, 2008, Influence of heat treatment processing parameters on the hardness and the microstructure of semi-solid aluminum alloy Al-Si, Journal of metals, Material and minerals, vol.18, pp 93-97.
- McDonald SD, Nogita K, Dahle AK, 2004, Eutectic nucleation in Al-Si alloys” Acta Materialia, 4273-4280.

Möller H, 2008, The T6 heat treatment of semi-solid metal processed alloy Al-Si, The open solid materials science journal, University of Pretoria, South Africa, 2, 6-10.

Hiev Nguyen, 2005, Manufacturing processes engineering materials used in automotive engine blocks, School of Engineering Grand Valley State University, 4-12.

Shankar S, Riddle Y, Makhlof M, 2004, Nucleation mechanism of the eutectic phases in aluminum-silicon hypoeutectic alloys, Acta materialia, numerous 52, 4447-4460.

Shivkumar S, Keller C, Apelian D, 2012, Aging behavior in cast Al-Si-Mg alloys, AFS Transactions , 905-911.

Totten GE, Mackenzie Scott D, Dekker M, 2003, Handbook of aluminum, vol.1, Physical Metallurgy and processes, Inc. 1, 72-119.

ASTM, 2000, Standard test methods for tension testing of aluminum metallic materials, B-557M, American Association State, 1-22.

Recibido: 13 de julio de 2016

Aceptado: 31 de junio de 2017

Álvarez Monsiváis, Mayra Enriqueta: MC Ciencias en Materiales del Instituto Tecnológico de Saltillo. Actualmente estudiante de doctorado en ciencia y tecnología en materiales de Facultad Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Valdez Covarrubias, Eduardo: Maestro investigador del Instituto Tecnológico de Saltillo. Correo Electrónico: evaldez@its.mx

