

“El efecto de las aleaciones TiBo como retardadores de grano en las aleaciones de aluminio”.

Por Carlos Roberto Güémez Shedden.
carlosguemez@gmail.com

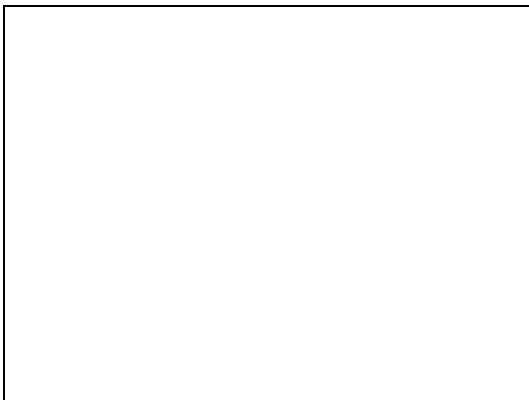
Antecedentes

En investigaciones anteriores los científicos han tratado de explicar cuál es el mecanismo que utilizan los refinadores de grano titanio-boro base aluminio (TiBo) para inhibir el crecimiento del tamaño del grano de las aleaciones de aluminio, pero no han podido descifrar el misterio. A causa de eso, existe muy poca información acerca del efecto que estos tienen en las propiedades mecánicas del aluminio, lo cual es de suma importancia a la hora de desarrollar productos innovadores.

Marco teórico

A causa de las buenas propiedades que posee el aluminio, este metal es uno de los más utilizados a nivel mundial.

Los metales se pueden presentar como materiales cristalinos amorfos, que se caracterizan porque están compuestos por una gran cantidad de monocristales a los cuales se les conoce como granos [3]. Los granos se pueden ver con la ayuda de un microscopio metalográfico, como se aprecia en la siguiente microfotografía.



**Microfotografía 1. Adición 0.009%Ti
99.48% Al - 0.022%Ti - 0.0023%B
Espesor 1.4 mm. Lado B. G-2 o 3. 10X**

Las propiedades mecánicas de los metales dependen en gran manera del tamaño de los granos. Cuanto más pequeños sean los monocristales, mejores son sus propiedades mecánicas [3].

Uno de los métodos más utilizados para controlar el crecimiento de los granos es el uso de refinadores de grano, los cuales introducen partículas en el metal fundido que obstaculizan el crecimiento de los granos durante el proceso de la solidificación del material.

En la colada continua del aluminio comúnmente se utilizan las aleaciones maestras titanio-boro base aluminio (también conocidos como aleaciones TiBo) para refinar el tamaño de grano debido a que el titanio es el elemento que posee el mayor factor de restricción de crecimiento del grano [1]. Una de las ventajas que este método presenta es que se evita la necesidad de aplicar tratamientos térmicos posteriores y permite llevar a cabo un enfriamiento menos brusco de las piezas fundidas, para regular el tamaño del grano.

Para obtener un buen desempeño del las aleaciones TiBo en el proceso de la colada continua es de suma importancia tener en cuenta los siguientes factores [2]:

- La tasa de adición del refinador de grano, ya que cuanto mayor sea el porcentaje de titanio que se agregue, menor será el tamaño de grano
- La distribución de las partículas TiB_2

- La presencia de elementos que producen la sobresaturación de los diboruros de titanio
- Las condiciones de solidificación

Metodología

Se estudió el proceso de la colada continua en posición horizontal de las aleaciones de aluminio 1XXX que corresponde al aluminio 99.0% puro, porque este material contiene una menor cantidad de los elementos que producen la sobresaturación del refinador de grano. Para ello se colaron 58 tons de aluminio en las cuales se utilizaron diversas tazas de adición del refinador de grano.

Se estudió la aleación maestra Al – 5%Ti –1%B, a diferentes tazas de adición.

Se obtuvieron muestras de láminas en los espesores 2.9 mm, 1.4 mm y 0.7 mm, a las cuales se les realizaron pruebas de tensión y se realizó la medición del tamaño de grano siguiendo las especificaciones de las normas ASTM – E8 y ASTM – E112 respectivamente.

A cada muestra se le realizó un análisis químico en el lado superior e inferior. Se hizo el análisis químico a muestras obtenidas a tres profundidades distintas del canal de colada, para determinar si el asentamiento de los diboruros de titanio es un factor de importancia.

Se fundieron muestras de aluminio con diferentes relaciones porcentuales de aluminio puro y las aleaciones maestras Al – 5%Ti –1%B y Al – 5%Ti –0.2%B para tratar de entender el mecanismo de la formación de las partículas de TiB_2 y $TiAl_3$ después de la solidificación, utilizando una agitación constante para obtener una adecuada distribución tales partículas.

Resultados y conclusiones

En la tabla 1 se muestran las tazas de adición del refinador de grano que fueron utilizadas y el porcentaje de titanio agregado equivalente.

Taza de adición del refinador de grano (mm/min)	Porcentaje de titanio
465	0,011
368	0,009
532	0,013
697	0,017

En los gráficos 1 y 2 se pueden observar los resultados de las pruebas de tensión y las mediciones del tamaño de grano, correspondientes a muestras de láminas de 0.7 mm de espesor, los cuales sirven como ejemplo del comportamiento que presentaron las pruebas realizadas con los otros espesores de lámina.

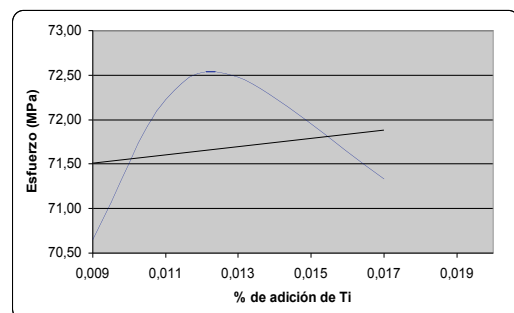


Gráfico 1. Esfuerzo vrs %Ti

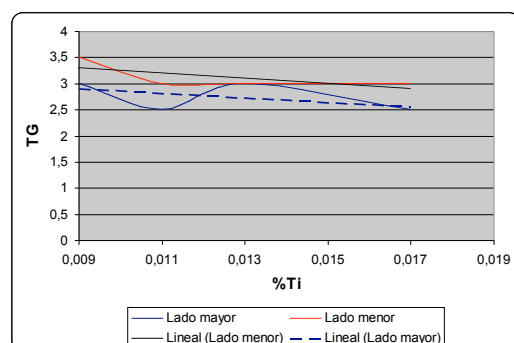


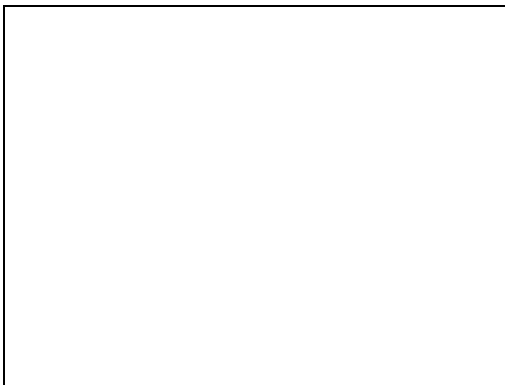
Gráfico 2. Tamaño de grano vrs %Ti

Es curioso ver cómo el tamaño de grano tendió a crecer conforme aumentó el porcentaje de adición de titanio,

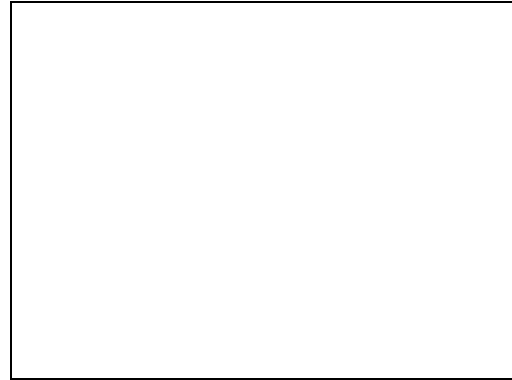
mientras que también el esfuerzo aumenta y decrece, lo cual es contradictorio por dos motivos:

- 1- Cuanto mayor sea el porcentaje de titanio presente en la muestra, menor debería ser el tamaño de grano.
- 2- A menor tamaño de grano más resistente debería ser el material y por lo tanto, mayor el esfuerzo de tensión.

Al hacer el estudio metalográfico se descubrió que al aumentar la taza de adición del refinador del tamaño de grano, el tamaño de grano sí disminuyó pero no de manera uniforme, lo cual perjudica significativamente las propiedades mecánicas del material. Esto se puede apreciar en las microfotografías 2 y 3, en las cuales se da la evidencia de que a la taza más alta de adición del refinador de grano, el tamaño del grano fue el menor en cierta área de la muestra, mientras que en otro sector fue mayor.



**Microfotografía 2. Adición 0.017%Ti
99.48% Al - 0.031%Ti - 0.0049%B
Espesor 2.9 mm. Lado A. G<1. 10X**



**Microfotografía 3. Adición 0.017%Ti
99.48% Al - 0.031%Ti - 0.0049%B
Espesor 2.9 mm. Lado A. G-7. 10X**

Esto indica que la distribución de los diboruros de titanio en el material no es uniforme y el problema del aglomeramiento empeora al crecer el porcentaje de titanio agregado.

El tamaño de grano en ambos lados de las láminas es diferente. Esto puede ser debido a que al ser las partículas de TiB_2 más densas que el aluminio fundido [4], ellas tienden a asentarse, provocando estas discrepancias. No obstante, los análisis químicos no revelaron que este problema se deba a las diferencias de peso de ambos materiales. Se recomendó hacer montar un canal de colada experimental, que se pueda colocar horizontal y verticalmente, permitiendo así verificar si el efecto de la gravedad es el verdadero responsable de este problema.

Todavía no se ha respondido a la interrogante: ¿Por qué si el tamaño de grano aumentó, también lo hizo la resistencia del material?

Porque hubo dos mecanismos de endurecimiento del metal que entraron en juego: el endurecimiento por tamaño de grano y el endurecimiento por solución sólida [3], en el cual la acumulación de las partículas de TiB_2 en los límites de grano contribuyeron al reforzamiento del aluminio, haciendo que en ocasiones se tenga una mayor o menor resistencia dependiendo del

resultado que se obtenga de la combinación de tales mecanismos.

Esta investigación se puede considerar como uno de los primeros pasos en el desarrollo de materiales hechos con aleaciones de aluminio, ya que comprender cómo será el comportamiento de las propiedades mecánicas del aluminio al utilizar los refinadores de grano TiBo, es de suma importancia a la hora de desarrollar productos con las características deseadas.

Referencias

- [1] Easton, M. y StJohn, D. “The effect of alloy content on the grain refinement of aluminium alloys”. TMS Light Metals, (2001), 927-934
- [2] Easton, M., StJohn, D. y Sweet, E. “Reducing the cost of grain refiners additions o DC Casting”. TMS Light Metals, (2004), 827-831
- [3] Mangonon, P. *Ciencia de materiales: selección y diseño*. Pearson Education. México. 2001. Pag.29, 134-136
- [4] Schaffer, P., Dahle, A. y Zindel, J. “Grain refinement fade in aluminium alloys”. TMS Light Metals, (2004), 821-826.