

//////////

ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

Conocimientos metalográficos probados

NOTA DE APLICACIÓN



PREPARACIÓN METALGRÁFICA DE ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

A diferencia de otros metales que cuentan con una larga trayectoria, como el hierro y el cobre, el aluminio es un metal relativamente reciente cuyo conocimiento data de principios del siglo XIX. En 1886 se desarrolló un método de producción de aluminio que se sigue utilizando hoy en día: el proceso Hall-Heroult.

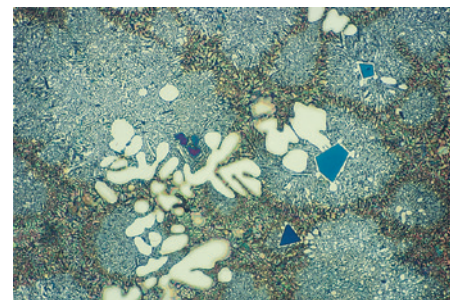
El aluminio tiene un aspecto blanco plateado, es muy ligero y se utiliza como metal puro o aleación en múltiples aplicaciones diferentes. Solo cantidades muy pequeñas de elementos de aleación pueden aumentar la resistencia y, debido a su baja densidad, las aleaciones de aluminio están especialmente indicadas para aplicaciones de la industria aeroespacial. Además, las aleaciones de aluminio se utilizan con frecuencia en la industria del automóvil para promover la reducción de peso.

La alta resistencia a la corrosión del aluminio se basa en una película fina, compacta y adherente de óxido de aluminio en la superficie. Esta película de óxido es capaz de renovarse de forma espontánea cuando dicha superficie se daña. Por lo tanto, el aluminio es adecuado para superficies pulidas y cepilladas y para el anodizado en varios colores, lo que lo convierte en un material de gran interés en la industria de la construcción.

Otras propiedades del aluminio son su alta conductividad térmica y capacidad de conformación, ya sea mediante fundición, trabajo en caliente, en frío o mecanizado. El aluminio no es tóxico y es neutro en cuanto a sabor, por lo que es el material preferido en la industria alimentaria y de envasado; por ejemplo, para latas y envases o para máquinas de panadería o dispensadores de bebidas.

Nuevas aleaciones de aluminio-litio (Al-Li) y titanio-aluminio (Ti-Al) se fabrican mediante un proceso metalúrgico en polvo, y el aluminio también se utiliza como metal matriz para materiales compuestos. El aluminio, dada su gran versatilidad, se usará en múltiples campos en nuevas aplicaciones.

La metalografía del aluminio se utiliza en procesos de control de calidad para determinar el tamaño del grano y los defectos en la microestructura de muestras pulidas y sometidas a ataque químico. Además, la muestra se revisa para detectar cualquier posible impureza, como óxidos o aluminuros de circonio (Fig. 2). El aluminio para aleaciones de fundición se evalúa con relación a la forma, la distribución de fases y la posible porosidad. En materiales forjados, se investigan los defectos del proceso de laminación y extrusión y se miden los grosores de la placa.



Fundición de aluminio-silicio, ataque químico de color con ácido molíbdico.

200x



Dificultades durante la preparación metalográfica

El aluminio puro es muy suave y propenso a la deformación mecánica y a las rayaduras. El carburo de silicio y las partículas de diamantes se pueden incrustar en la superficie de la muestra. (Fig. 1)

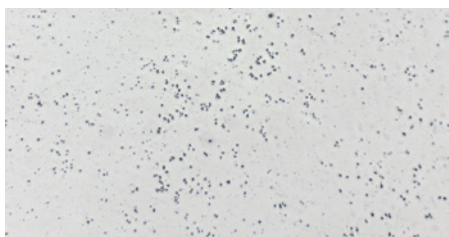


Fig. 1: Partículas de diamante incrustadas en aluminio puro tras un pulido con 3 µm.

200x

Las aleaciones forjadas muy mecanizadas y deformadas son difíciles generar contraste.

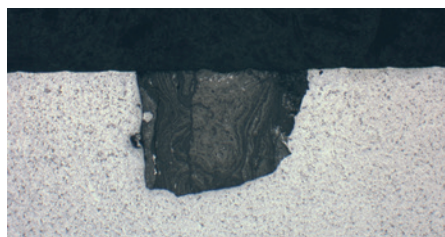


Fig. 2: Óxido en la superficie de un proceso de fundición a presión de aluminio.

50x

SOLUCIÓN

- ✓ Esmerilado plano con papel/ lámina de carburo de silicio (SiC) lo más fina posible
- ✓ El pulido de diamante y/o el pulido final deben ser lo suficientemente largos para eliminar todas las partículas incrustadas
- ✓ Pulido final con suspensión de sílice coloidal
- ✓ Anodización con reactivo de Barker

PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DEL ALUMINIO

El aluminio es uno de los metales más comunes de la corteza terrestre. No se encuentra en estado puro, sino combinado en forma de compuestos químicos. Su extracción económica solo es posible a partir de bauxita, que consiste en un 60 % de óxido de aluminio como hidróxido ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$), el resto son óxidos metálicos (Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2). El proceso de producción es complejo y requiere mucha energía; se basa principalmente en dos pasos que se describen brevemente a continuación.

Extracción de alúmina pura (óxido de aluminio, Al_2O_3) de bauxita

La recuperación de la alúmina empieza con un triturado y esmerilado fino de la bauxita, para después calentarla con hidróxido de sodio bajo presión. En este proceso, se forma un aluminato de sodio soluble en agua junto con residuos no disueltos de hierro, titanio y silicio, llamado "lodo rojo", que se separa por sedimentación. A la solución de aluminato de sodio altamente diluida se añaden "partículas cristalinas" de hidróxido de aluminio recién precipitado para iniciar la precipitación de hidróxido de aluminio puro ($\text{Al}(\text{OH})_3$). El agua se elimina a través de un proceso de calcinación a 1200 °C, mientras que la alúmina anhidra (óxido de aluminio) permanece.

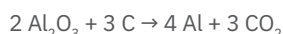
El proceso Hall-Heroult

Conversión de alúmina en aluminio:

La química de reacción de la alúmina pura requiere un proceso electroquímico para extraer el aluminio de su óxido. Dado que el punto de fusión del óxido de aluminio es muy alto, 2050 °C, se mezcla con criolita, lo que reduce el punto de fusión a 950 °C. Además, la criolita aumenta la conductividad y, en consecuencia, el rendimiento eléctrico.

La electrólisis se realiza en un gran contenedor de acero con revestimiento interior de carbono o grafito, el cual contiene barras de acero que actúan como conductores de electricidad. Las paredes y el suelo recubiertos de carbono forman el cátodo, y la fusión de óxido de aluminio-criolita es el electrolito. Los bloques de carbono suspendidos en un bastidor sobre el baño fundido funcionan como ánodos consumibles. Durante la electrólisis, el carbono del ánodo reacciona con el

oxígeno de la alúmina y, en una reacción secundaria, se produce aluminio metálico con la formación de dióxido de carbono:



El aluminio fundido tiene mayor densidad que el electrolito fundido y se deposita en el fondo del recipiente. Se extrae una vez al día y se moldea en lingotes. Con este proceso se obtiene aluminio con una pureza del 99 al 99,9 %, que en su mayoría se utiliza para la producción de aleaciones de aluminio.

Mediante una electrólisis adicional, la pureza del aluminio puede aumentar hasta un 99,98 % para productos semiacabados, y hasta un 99,99 % para la fundición en lingotes. Este aluminio puro tiene una resistencia muy alta a la corrosión y es especialmente adecuado para el anodizado. Se utiliza para realzar productos como molduras decorativas, reflectores, láminas para condensadores electrolíticos, y tubos para la industria química y alimentaria. El coste del aluminio aumenta con su pureza, y la pureza de un aluminio específico utilizado para un producto viene determinada por los requisitos de su aplicación. El diagrama muestra el ciclo del aluminio y los pasos de producción. Los productos principales son aleaciones forjadas para productos semiacabados que contienen hasta un 2 % de elementos de aleación y aleaciones fundidas con hasta un 15 % de elementos de aleación.

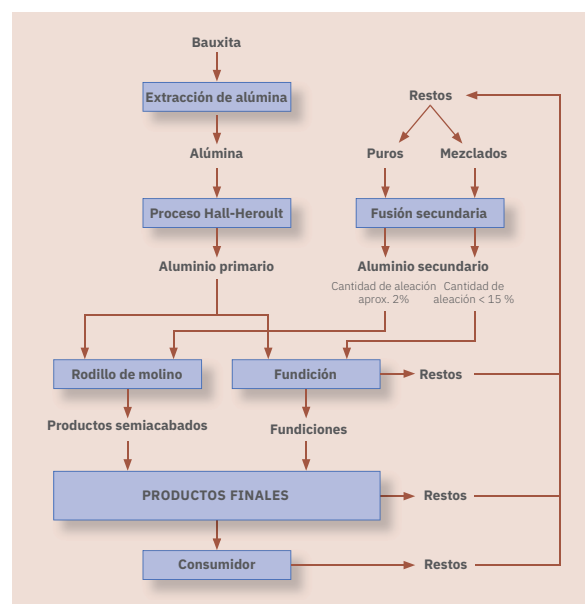
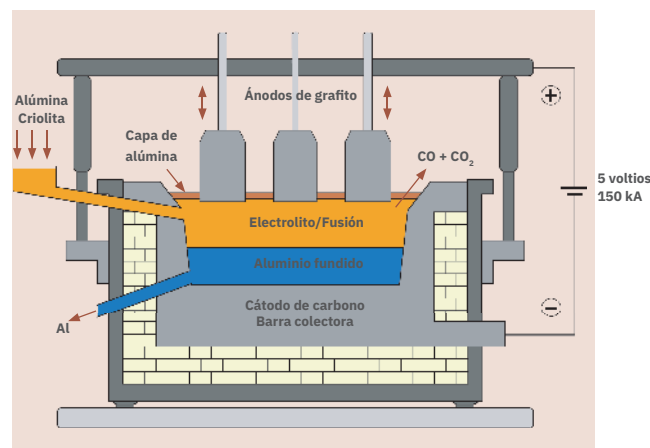


Diagrama simplificado del proceso de producción de aluminio.



Esquema de electrólisis en producción de aluminio puro.



Existen numerosas aleaciones de aluminio, que se clasifican como forjadas y fundidas. Estos dos grupos se diferencian de nuevo por las aleaciones termotratables y no termotratables. La adición de cantidades muy pequeñas de elementos de aleación produce un aumento de la resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza en comparación con las propiedades mecánicas del aluminio puro. Los elementos de aleación más importantes son: Si, Mg, Cu, Zn y Mn. La combinación de elementos de aleación con aluminio o entre sí (compuestos de Mg_2Si , Al_2Cu , $MgZn_2$ y Al-Fe-Si) influye en la capacidad de mecanizado. Estos componentes mayoritariamente eutécticos deben dispersarse finamente mediante un proceso de trabajo en caliente antes de que la aleación pueda trabajarse en frío.

El proceso más importante para mejorar las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio es el endurecimiento por envejecimiento. Requiere una solución sólida con una solubilidad decreciente de los elementos de aleación con temperaturas descendentes; por ejemplo, AlCuMg y AlMgSi. Endurecimiento por envejecimiento natural (ejemplo: AlCuMg). Tras realizar un recocido de la solución, se temple la pieza y a continuación se inhibe la precipitación del Al_2Cu en la solución sólida. A continuación, se deja envejecer la pieza a temperatura ambiente. Durante este proceso, la red cristalina precipita el cobre de la solución sobresaturada. El estrés que se produce como resultado en la red cristalina de aluminio causa un incremento de la resistencia y la dureza. El endurecimiento natural dura aprox. 5-8 días.

En el proceso de endurecimiento por envejecimiento artificial, la dinámica es la misma que la descrita anteriormente. Sin embargo, el envejecimiento se produce a una temperatura elevada. Con una aleación de AlMgSi, por ejemplo, el envejecimiento se produce entre 4 y 48 horas a 120-175 °C después del recocido y el templado. La precipitación de la fase Mg_2Si produce un estrés interno en la red cristalina de aluminio, que resulta en un incremento de la resistencia y la dureza.

Las aleaciones no endurecidas se endurecen mediante trabajo en frío		
Elemento principal de aleación	Número de serie	Ejemplos de aleaciones
Más del 99 % de pureza, con trazas de Cu, Fe, Si	1xxx	Al 99; Al 99,5; Al 99,85
Mn	3xxx	Al-Mn; Al-Cu-Mn-Mg
Mg	5xxx	AlMg3; Al-Mg-Mn-Cr
Otros elementos	8xxx	Al-Fe-Si; Al-Li-Mg-Cu
Las aleaciones de endurecimiento se endurecen de modo natural y artificial		
Cu	2xxx	Al-Cu-Si-Mg
Si	4xxx	Al-Si-Mg
Mg, Si	6xxx	Al-Mg-Si
Zn	7xxx	Al-Zn-Mg-Cu

Aleaciones forjadas

Las palanquillas para laminación y los lingotes para prensado se producen en un proceso de fundición continuo. En muchos casos, a la fundición le sigue el recocido para la homogeneización. La transformación de la estructura de fundición en una estructura forjada se realiza mediante laminado en caliente, extrusión o forjado. Solo después de este conformado en caliente, donde se rompe la quebradiza estructura de límites celulares y de grano eutéctico, es posible el trabajo en frío de las aleaciones forjadas (Fig. 3-5). Los principales elementos de aleación de las aleaciones de aluminio forjado son el cobre, el magnesio, el cinc y el manganeso. El silicio y el hierro afectan a las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión, y podrían ser tanto impurezas como elementos de aleación, dependiendo de la aplicación y la pureza requeridas.



Fig. 3: Aleación de aluminio 2024, para fundición, que muestra precipitación eutéctica en los límites del grano, sin ataque químico, 200x.

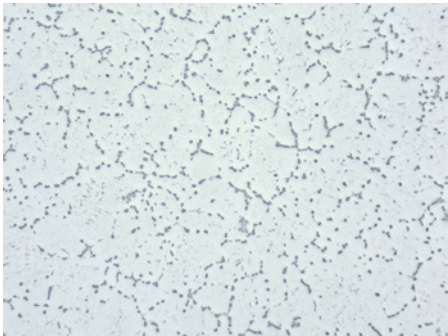


Fig. 4: Como en la Fig. 3, homogeneizado, sin ataque químico, 200x



Fig. 5: Como en la Fig. 4, laminado en caliente, sin ataque químico.



Lámparas con reflectores de aluminio muy pulido.



Las aleaciones forjadas se utilizan, por ejemplo, para placas en ingeniería mecánica y construcción de moldes para productos laminados, como planchas y bandas, y también productos chapados como radiadores e intercambiadores de calor. Las láminas chapadas que tienen que combinar propiedades mecánicas específicas y una alta resistencia a la corrosión tienen un núcleo de una aleación de aluminio que está recubierta por ambos lados con aluminio puro y laminado. Láminas chapadas para productos semiacabados concretos para la construcción de aeronaves o aplicaciones decorativas como reflectores o embellecedores. Las aleaciones forjadas de aluminio de alta resistencia se utilizan en aplicaciones mecánicas, de transporte y electrotécnicas, así como para productos deportivos y de ocio, como uniones para tablas de snowboard, bastones de esquí y engranajes para bicicletas de montaña, etc. El aluminio se utiliza cada vez más como material matriz para compuestos, especialmente para el aluminio reforzado con fibras en la industria aeroespacial.

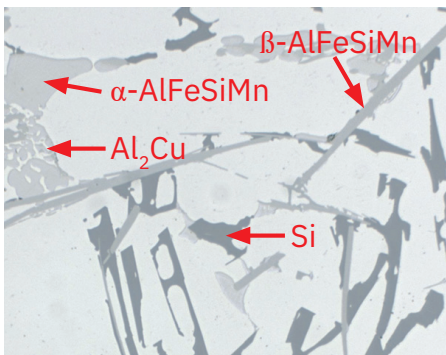


Fig. 6. En la fundición de AlSi6Cu4, las diferentes fases pueden identificarse por su color típico, 500x.

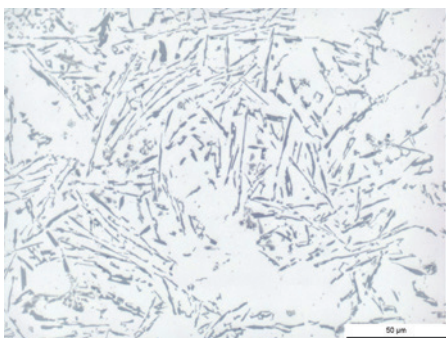


Fig. 7: Fundición de aluminio-silicio, 500x sin refinar.

Aleaciones fundidas

Las piezas fundidas de aluminio se someten a aleación principalmente para mejorar las propiedades mecánicas, y se diferencian según sus principales elementos de aleación: silicio, magnesio y cobre. El contenido de la aleación que excede la saturación de la solución sólida se precipita como metal puro, como por ejemplo el silicio, o como fases eutécticas e intermetálicas.

El silicio aumenta la fundición del aluminio, y en las aleaciones eutécticas, como AlSi12, se añaden pequeñas cantidades de sodio antes de la fundición para refinar el eutéctico. En este proceso de refinamiento, en vez de precipitar como agujas o placas toscas (Fig. 7), el silicio forma un eutéctico muy fino con una solución sólida α (Fig. 8). El efecto del endurecimiento en estas aleaciones es muy bajo y, por lo tanto, se añade magnesio para que puedan endurecer por envejecimiento.

Las aleaciones fundidas se producen mediante fundición en frío o a presión. Las aleaciones de fundición con propiedades específicas se usan en varios grupos de productos, incluida la fabricación de pistones, cojinetes de deslizamiento, piezas para ingeniería mecánica, cabezales de cilindros y zapatas de freno.

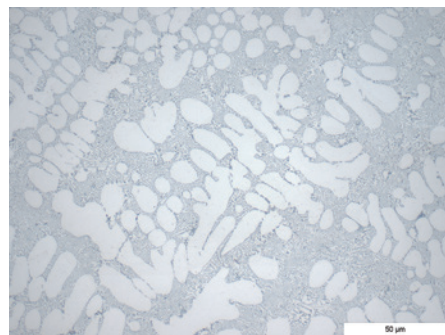


Fig. 8: Fundición de aluminio-silicio, 500x refinado.

Algunas de las aleaciones de fundición más importantes y sus propiedades

AlSi10Mg	Endurecimiento por envejecimiento, resistencia a las vibraciones y a la corrosión
AlSi5Cu1	Endurecimiento por envejecimiento, buena fundición, para soldadura, para fundición de sección delgada
AlMg3	Resistente al agua marina
AlSi25+ Cu Ni	Aleación especial para pistones; resistente al desgaste gracias a su alto contenido de Si
AlMgSiPb	Ideal para la mecanización
AlSi9Cu3	Aleación universal maleable y la aleación más importante para procesos de fundición a presión

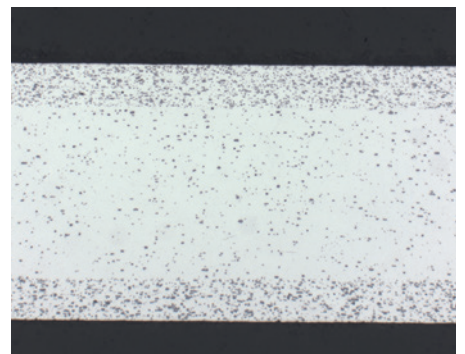


Lámina chapada, núcleo: Aleación de aluminio 3503, recubrimiento: Aleación de aluminio 4104, sin ataque químico. 100x



Lámina chapada, núcleo: Aleación de aluminio 2024, recubrimiento: Aluminio 99,5%, ataque químico con Dix y Keller. 50x



DIFICULTADES DURANTE LA PREPARACIÓN DE ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

Cuanto más puro sea el aluminio, más suave y más susceptible será a la deformación mecánica y a las rayaduras. Por lo tanto, el esmerilado puede causar deformaciones importantes en el aluminio de alta pureza.

Los abrasivos de esmerilado y pulido pueden incrustarse en la superficie. Al aumentar el contenido de aleación, el aluminio se vuelve más duro y las aleaciones fundidas son relativamente fáciles de preparar. Sin embargo, debe destacarse que la matriz de aluminio debe pulirse bien para evitar errores en la interpretación de la estructura (Fig. 9 y 10).



Fig. 9: Fundición de aluminio-silicio; después de un pulido con diamante de 3 μm todavía hay pequeñas rayaduras visibles. 200x



Fig. 10: Estructura como en la Fig. 9, pero con pulido fino con una suspensión OP-U. La matriz está bien pulida y el eutéctico tiene un mayor contraste. 200x

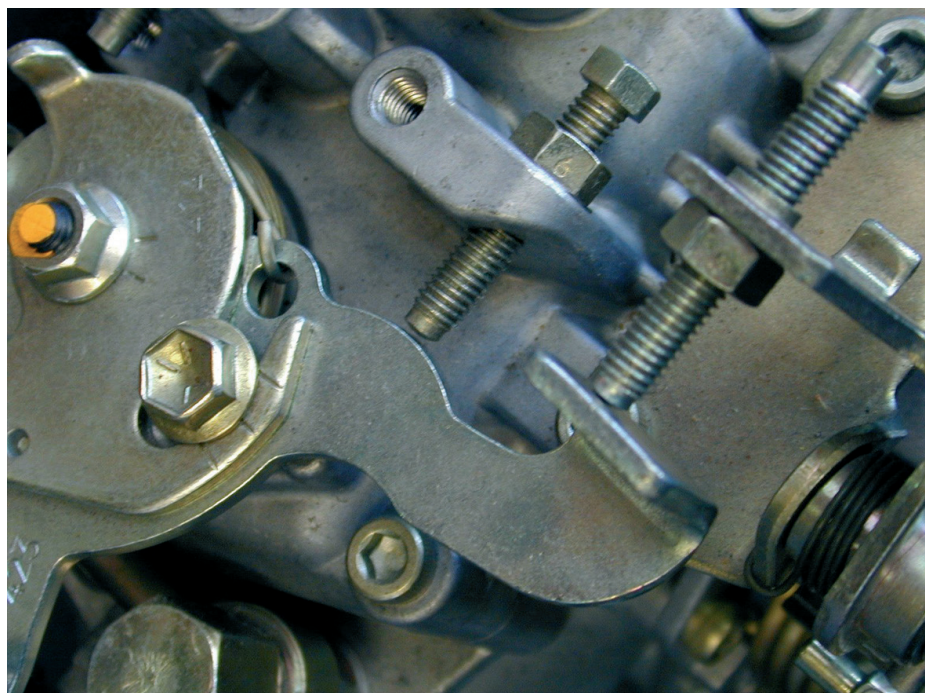
Cuando corte el aluminio, utilice un disco de corte de carburo de silicio duro que sea adecuado para metales no ferrosos. Para la embutición de resina, en la mayoría de los casos es suficiente una resina fenólica. No obstante, las láminas delgadas y las muestras para la anodización deberían embutirse en resinas epoxi de curado lento, con la muestra sobresaliendo por la sección posterior del embutido para servir de contacto eléctrico.

Esmerilado y pulido mecánicos

Se recomienda que el esmerilado plano se realice con el grano más fino posible para evitar cualquier deformación mecánica excesiva. Hay que tener en cuenta la dureza, el tamaño y el número de muestras, pero incluso con muestras más grandes de aluminio puro, 500# es suficiente para el esmerilado plano. Las piezas fundidas de gran tamaño de aleaciones de aluminio se pueden esmerilar con lámina de carburo de silicio (SiC) de 220# o 320#. Es importante que la fuerza de esmerilado también sea muy baja para evitar una deformación profunda, además de reducir la fricción entre la lámina/papel de esmerilado y la superficie de la muestra; esto puede ser relativamente alto para el aluminio puro.

El pulido de diamante debe llevarse a cabo hasta haber eliminado todas las rayaduras profundas que se hayan producido durante el esmerilado.

En caso de que se deban identificar componentes solubles en agua, se recomienda el pulido con suspensión de diamante sin agua y lubricante. Si han penetrado partículas de diamante en la superficie durante el pulido, el siguiente pulido final con suspensión de dióxido de silicio puede ser relativamente largo (consulte la Fig. 1 en la página 2). Muy a menudo, ya se pueden ver a simple vista áreas brillantes y mates en la superficie de la muestra. Esto indica que el pulido final aún no es suficiente. Hay que señalar que las partículas incrustadas pueden provocar interpretaciones erróneas de la estructura.



Sección de una pieza de ingeniería mecánica con componentes de fundición de aluminio.

RECOMENDACIONES PARA LA PREPARACIÓN DE ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

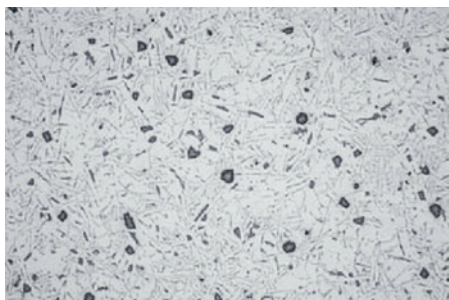


Fig. 11: Fundición de aluminio-silicio pulida durante demasiado tiempo con una suspensión OP-S; las precipitaciones de silicio destacan en relieve.

1 minuto después de haber realizado el pulido con una suspensión OP-U, compruebe la muestra con el microscopio. Si es necesario, se debe continuar con el pulido durante otro minuto y volver a comprobar el resultado. Se recomienda continuar con esta secuencia de pulido y comprobación hasta que se haya alcanzado la calidad requerida. Aproximadamente 20-30 segundos antes de terminar el pulido, vierta agua en el paño con el que está realizando el pulido para aclarar/limpiar la muestra de trabajo y el paño. A continuación, la muestra se lava de nuevo con agua limpia del grifo y, a continuación, se seca. Nota: Pulir durante demasiado tiempo con una suspensión de dióxido de silicio OP-S NonDry podría causar un relieve pronunciado, (Fig. 11).

Los siguientes datos son para la preparación automática de muestras embutidas, 30 mm.

Electrolito:	200 ml de agua + 10 ml de ácido fluorobórico (35 %) (Barker's)
Máscara:	2 cm ²
Tensión:	24 V
Caudal:	8
Tiempo:	1-2 min

El pulido electrolítico está especialmente indicado para aluminio puro y aleaciones forjadas. Deja una superficie sin rayaduras y suele utilizarse en procesos de control de calidad ya que proporciona resultados rápidos y reproducibles. Para la identificación rutinaria del tamaño del grano a 100x, un pre-esmerilado con una lámina de carburo de silicio (SiC) de 1000# será suficiente. Las superficies laminadas o estiradas no necesitan ningún esmerilado o pulido. Para realizar exámenes de aluminio puro y de precisión de las formas de los granos, deberá realizarse un esmerilado fino de la muestra a 2000# y a veces incluso a 4000# antes de realizar el pulido electrolítico. Debido a las múltiples fases diferentes de las aleaciones fundidas, no son adecuadas para el pulido electrolítico.

Después del pulido, la anodización con el reactivo de Barker proporciona un contraste de color que es especialmente adecuado para la evaluación del tamaño del grano. Para obtener el efecto de color, se utiliza luz polarizada con una placa de tinción sensible a $\lambda\frac{1}{4}$ (Fig. 12).

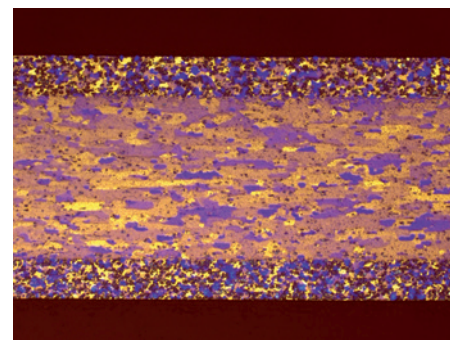


Fig. 12: Las áreas del grano anodizadas, de láminas chapadas son claramente visibles y adecuadas para un análisis de imágenes automático, bajo luz polarizada con lámina de $\lambda\frac{1}{4}$.

Método de preparación 1 - Fundición de aluminio-silicio

Esmerilado

PASO	PG	FG	DP	OP
Superficie	MD-Molto	MD-Largo	MD-Mol*	MD-Chem
	Tipo	Diamante	Diamante	Sílice colodial
	Tamaño	# 220	9 µm	3 µm
	Suspensión/Lubricante	Agua	DiaPro Allegro/Largo 9	OP-U NonDry
	rpm	300	150	150
	Fuerza [N]/muestra	25	30	25
	Tiempo (min)	Hasta planitud	4	3

*De manera alternativa, MD-Dac.



Método de preparación 2 - Aluminio puro

Esmerilado				Pulido			
PASO		PG	FG 1	FG 2	FG 3	DP	OP
	Superficie	Lámina/ papel*	Lámina/ papel*	Lámina/ papel*	Lámina/ papel*	MD-Mol**	MD-Chem
	Abrasivo	Tipo	SiC	SiC	SiC	Diamante	Sílice colodial
		Tamaño	#320/500	# 800	# 1200	#4000	3 µm 0,04 µm o 0,25 µm
	Suspensión/ Lubricante	Agua	Agua	Agua	Agua	DiaPro Mol R3	OP-U o OP-S
	rpm	300	300	300	300	150	150
	Fuerza [N]/ muestra	25	25	25	25	25	15
	Eliminación (µm) Tiempo (min)	Hasta planitud	0,5	0,5	0,5	4	2-5

* Para evitar rayaduras gruesas, el papel o la lámina de carburo de silicio (SiC) puede frotarse con cera antes de realizar el esmerilado.
**De manera alternativa, MD-Dac.

Método de preparación 3: aluminio puro, método alternativo

Esmerilado			Pulido		
PASO		PG	FG	DP	OP
	Superficie	Lámina/ papel*	MD-Pan	MD-Dac 3 o MD/Dur 3	MD-Chem
	Abrasivo	Tipo	SiC	Diamante	Sílice colodial
		Tamaño	# 320	15 µm 3 µm	0,04 µm o 0,25 µm
	Suspensión/ Lubricante	Agua	DiaPro Pan 15 m	DiaPro Dac 3/Dur 3	OP-U u OP-S
	rpm	300	150	150	150
	Fuerza [N]/ muestra	25	25	25	15
	Tiempo (min)	Hasta planitud	5	4	2-5

* Para evitar rayaduras gruesas, el papel o la lámina de carburo de silicio (SiC) puede frotarse con cera antes de realizar el esmerilado.



Ataque químico y estructura

Los reactivos macro se utilizan para la evaluación del tamaño del grano, también para mostrar las líneas de flujo de la extrusión (Fig. 13) y para poner al descubierto cordones de soldadura. Antes del ataque químico, la muestra debe esmerilarse a 1200# o 2400#.

Debido a las múltiples posibilidades de aleación del aluminio, las diferentes fases no se podrán identificar siempre de manera clara en algunas aleaciones con varios componentes. Algunas de las fases conocidas tienen los siguientes colores característicos (véase también la Fig. 6 en la página 5):

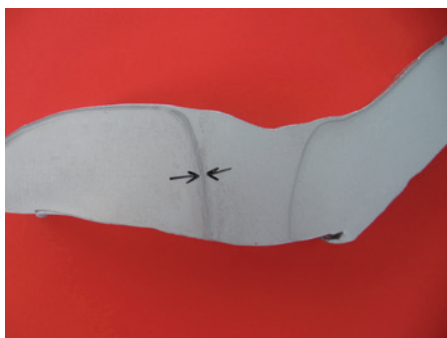


Fig. 13: Se revelan la parte prensada, el macrograbado, los precipitados primarios y heterogéneos que tienen un efecto negativo en la superficie del producto final.

Electrolito:	A2
Máscara:	2 cm ²
Tensión:	39 V
Caudal:	10
AlMgSiPb	Ideal para la mecanización
Tiempo:	20 segundos

Si	Gris
Mg ₂ Si	Azul oscuro deslustrado durante el pulido (en fundición: alfabeto chino)
Al ₂ Cu	Marrón rosado de tono cobrizo
Al ₆ Mn	Gris claro

No obstante, las fases eutécticas pueden, a veces, reconocerse gracias a la típica forma de su eutéctico. En la bibliografía correspondiente se enumeran los reactivos que se pueden utilizar para identificar estas fases (Fig. 14 y 15).

Las aleaciones forjadas con una estructura muy deformada, como láminas o láminas muy finas, son difíciles de contrastar con los reactivos químicos; esto puede dificultar el análisis automático de la imagen. Se recomienda anodizar la muestra con el reactivo de Barker y luego evaluar la estructura "manualmente" con el microscopio, ya que a veces, incluso con el reactivo de Barker, el contraste no es suficiente para un análisis automático de la imagen. Ciertas especificaciones para aleaciones forjadas requieren una determinación "manual" del tamaño del grano, ya que el análisis de imagen no es lo suficientemente exacto.

Soluciones de ataque químico

Nota: Al trabajar con productos químicos, se deben seguir las precauciones de seguridad habituales.

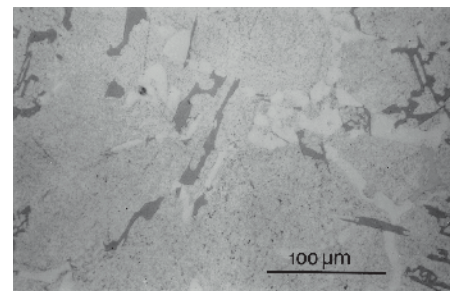


Fig. 14: Aleación experimental de aluminio con 6 % de Si y 10 % de Cu, sin ataque químico.

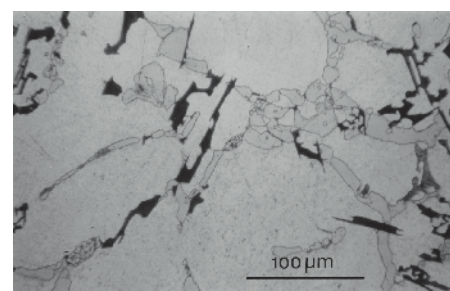


Fig. 15: Como en la Fig. 14 pero con ataque químico de 30 segundos con 1 g de ácido molíbdico en 200 ml de agua + 6 g de cloruro amónico. El silicio es de color azul oscuro y se distingue claramente del CuAl₂, que es de tono grisáceo.

Macroataque químico

Para aluminio puro	90 ml de agua 15 ml de ácido clorhídrico 10 ml de ácido fluorhídrico
Ataque químico profundo para revelar la estructura dendrítica primaria	100 ml de agua 10-25 g de hidróxido de sodio

Microataque químico

Reactivo de Flick: ataque químico en el límite del grano para la mayoría de tipos de aluminios y aleaciones	90-100 ml de agua 0,1-10 ml de ácido fluorhídrico
Reactivo Dix y Keller: ataque químico del área del grano para aleaciones de Al con cobre, aunque también es adecuado para aluminio puro	190 ml de agua 5 ml de ácido nítrico 10 ml de ácido clorhídrico 2 ml de ácido fluorhídrico
Reactivos de color:	Solución de ácido molíbdico según Klemm o Weck

RESUMEN

Su baja densidad, su dureza y la alta resistencia a la corrosión convierten el aluminio y sus aleaciones en el material preferido en múltiples aplicaciones en los sectores del automóvil y la aviación, o en la industria aeroespacial y de embalaje, entre otras. La metalografía se utiliza en el control de calidad para determinar el tamaño del grano y la evaluación de fases, impurezas y defectos mecánicos. El aluminio puro es muy susceptible a la deformación y, por lo tanto, el esmerilado no debería llevarse a cabo con granos toscos. A fin de garantizar la eliminación de todas las partículas de diamante incrustadas en la superficie de la muestra, será necesaria llevar a cabo un pulido final en profundidad con suspensión de dióxido de silicio. Las aleaciones de fundición de aluminio se pulen con relativa facilidad. A la hora de realizar una evaluación del tamaño del grano, la anodización con el reactivo de Barker creará un contraste mejor que el ataque químico. Las diferentes fases de las aleaciones de fundición pueden identificarse mediante su color característico o con un ataque químico con soluciones específicas que preferentemente afectan a ciertas fases.

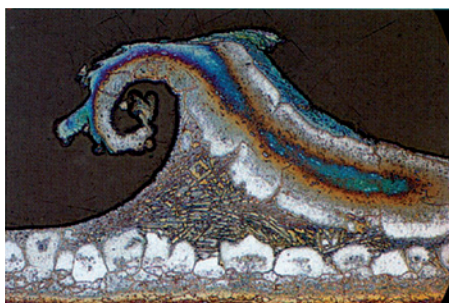


Fig. 16: Rebaba en un punto de soldadura de un intercambiador de calor, ataque químico previamente con hidróxido de sodio, ataque químico de color con permanganato de potasio según Weck.

NOTA DE APLICACIÓN

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,
Struers ApS, Copenhagen, Dinamarca

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la empresa AMAG rolling GmbH, Ranshofen (Austria), por el suministro de material de muestra y el permiso para reproducir la foto de las lámparas en la página 3. Nuestro especial agradecimiento a la Sra. Petra Mersch y al Dr. Reinhardt Rachlitz por su apoyo.

Queremos agradecer a Austria Alu-Guss-Gesellschaft G.m.b.H., Ranshofen (Austria) su autorización para reproducir la foto de la llanta de aluminio en la página 1.

Queremos agradecer a Thomas Zwiég, del Instituto Danés de Tecnología, Aarhus (Dinamarca), el permiso para reproducir la Fig. 17.

Bibliografía

Structure 38, Thomas, Zwiég, Danish Institute of Technology, Aarhus, Denmark, "A universal method for the mechanical preparation of Aluminum alloy specimens with high edge retention and their subsequent colour etching".
Structure 8, Etching of Aluminum alloys, Dr. Philippe Lienard, Pof. Clement Pacque, Faculte Polytechnique de Mons, Belgium.
ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004.
Metals Handbook, Desk Edition, ASM, 1997.
Informationsmaterial des Gesamtverbands Deutscher Metallgießereien e.V., Düsseldorf.