

9 CONCLUSIONES

► ANÁLISIS MICROGRÁFICO DE LA ALEACIÓN A357 CONFORMADA POR RHEOCASTING Y THIXOCASTING, Y SOMETIDA A TRATAMIENTOS ISOTÉRMICOS

1. El lingote de Rheocasting presenta una estructura con cuatro zonas bien diferenciadas: el núcleo con fase α globulizada; zona intermedia con fase α en forma de rosetones; zona periférica con glóbulos α algo menores; y, finalmente una piel formada por dendritas muy finas. El microconstituyente eutéctico forma una matriz continua y su proporción y tamaño aumentan del centro a la periferia. La microestructura dendrítica de la piel impide la deformación del lingote durante el recalentamiento.
2. El recalentamiento del lingote al estado semisólido produce un rápido crecimiento del silicio y de los granos α . En el interior de los glóbulos, aparecen esferoides de eutéctico atrapado por coalescencia de la fase α , y otros esferoides de un eutéctico muy fino (del orden de $0,2 \mu\text{m}$), producidos por subenfriamiento del líquido ocluido y posterior nucleación homogénea del mismo.
3. El lingote recalentado y los componentes producidos por Thixocasting tienen una microestructura análoga, y más homogénea que la del lingote de Rheocasting. Sin embargo, los componentes presentan defectos propios de las fundiciones pero en muy bajas proporciones: rechupes, microgrietas y óxido atrapado. También se ha detectado silicio primario en las zonas donde el eutéctico es más grosero.
4. En el lingote de Rheocasting sólo se ha detectado mediante SEM el compuesto intermetálico $\beta\text{-AlFeSi}$ en las zonas interdendríticas de la periferia. Cuando este lingote se trata isotérmicamente entre 450 y $550 \text{ }^\circ\text{C}$, estos precipitados se fragmentan y redondean ligeramente.

5. En el lingote recalentado y en los componentes producidos por Thixocasting, con y sin tratamiento térmico T5, se detectan junto al microconstituyente eutéctico los intermetálicos: π -AlFeMgSi, β -AlFeSi, Mg_2Si y cristales que contienen Sr y Ca. Estos últimos no se alteran con los tratamientos térmicos.
6. Tratando isotérmicamente el lingote de Rheocasting entre 450-550 °C se produce la precipitación del compuesto π -AlFeMgSi. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de precipitación de estos cristales. Con tratamientos prolongados a temperaturas elevadas, se fragmentan, redondean y evolucionan a β -AlFeSi.
7. Los tratamientos isotérmicos prolongados entre 450-550 °C, y los tratamientos T6 favorecen la coalescencia de la fase α y el crecimiento de los cristales de silicio. Como consecuencia se obtiene una matriz continua de fase α y grandes cristales de silicio delimitando los granos de fase α preexistentes.
8. En los materiales conformados en estado semisólido tratados isotérmicamente a 450, 500 y 550 °C, el silicio no presenta fenómenos de fragmentación y crece de acuerdo con la teoría de Oswald, según la ley de potencia:

$$D^5 - D_0^5 = Kt$$

El exponente 5 se considera propio de un mecanismo de difusión de silicio en la matriz de aluminio. El valor medio de la energía de activación en el proceso de esferoidización es de 30 kJ.mol⁻¹, a las temperaturas estudiadas.

9. El factor de forma de los cristales de silicio adquiere rápidamente valores próximos a 0,7 en los tratamientos a altas temperaturas (en 5 minutos a 550 °C), y se mantiene en los intervalos de tiempo experimentados.

► **EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**

- 10. En los materiales conformados en estado semisólido la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento son superiores a los de la misma aleación conformada en molde permanente, tanto en los materiales sin tratar como con tratamientos T5 y T6
- 11. Los parámetros de conformación que más influyen en el alargamiento son una elevada temperatura del molde y la curva de inyección. Una presión de inyección alta y una energía final baja reducen la microporosidad y los microrechupes, y proporcionan mayor homogeneidad estructural.
- 12. Los parámetros de conformación obtenidos por métodos estadísticos en una máquina de 600 Tm son los siguientes: temperatura del molde 210 °C; energía aplicada 420 Wh; presión final 1000 bars; y una de curva de inyección con un mayor incremento de la velocidad final del pistón. En estas condiciones se han podido obtener piezas complejas de paredes delgadas.
- 13. Los mejores resultados obtenido mediante la conformación por Thixocasting con las aleaciones estudiadas son:

Aleación	Rp _{0,2%} /MPa	Rm/MPa	A/%
A357 T5	210	298	10
A357 T6	320	368	7
A356 T6	227	302	17

- 14. En el lingote de Rheocasting, la dureza de la fase α , medida con ultramicroindentador, es menor en el núcleo que en la periferia, y los glóbulos de fase α presentan, así mismo, diferencias de dureza entre el centro y la superficie. Todo ello se justifica por diferencias de concentración de magnesio, que se reducen con los tratamientos térmicos T5 y T6.

15. En los distintos materiales, la dureza HB disminuye al aumentar la temperatura y el tiempo de tratamiento isotérmico, porque se esferoidiza el silicio y crece el grano. Sin embargo, la microdureza HV de la fase α aumenta a 500 y 550 °C y disminuye a 450 °C, porque a bajas temperaturas no se redissuelve el magnesio y precipitan los compuestos intermetálicos.
16. En los materiales estudiados con matriz continua eutéctica, la fractura se desarrolla a través del eutéctico. La fase α muestra gran ductilidad.
17. Los componentes de Thixocasting, con y sin tratamiento T5, presentan esferoides de eutéctico ocluido en la fase α sin deformar y decohesionados, que actúan como dispersoides de tensiones, facilitando la rotura. Con tratamientos T6 los cristales de silicio presentes en las microcavidades provocan el mismo efecto y algunos se fracturan.

► CORROSIÓN

18. En las aleaciones aluminio-silicio A356, A357 y L-2560, la corrosión se ve favorecida a través del eutéctico. El ataque se desarrolla en torno a los cristales de silicio que actúan como cátodos frente a la fase α . La penetración del ataque aumenta a medida que disminuye el tamaño del silicio eutéctico. En consecuencia la resistencia a la corrosión depende del tamaño y la proporción de microconstituyente eutéctico.
19. Los precipitados intermetálicos de β -AlFeSi, Mg_2Si , π -AlFeMgSi y cristales que contienen estroncio, actúan como barreras al avance de la corrosión.
20. Cuando la fase α es homogénea el ataque se realiza en forma de picaduras semiesféricas que se distribuyen uniformemente. Esta distribución de las picaduras puede justificarse por la pasivación de las mismas al alcanzar un determinado tamaño, debido a la precipitación de hidróxidos de aluminio, y por un aumento del pH en las zonas catódicas. El aumento de la basicidad en

Conclusiones

las zonas catódicas puede producir la rotura de la capa de óxido, activando estas zonas y transformándolas en anódicas.

21. En general, los componentes obtenidos por Thixocasting con y sin tratamiento térmico presentan una mayor resistencia a la corrosión que los obtenidos por colada en coquilla de aleación L 2560 T6.
22. Cuando el silicio está en forma de grandes cristales, la corrosión de la fase α depende fundamentalmente del contenido en magnesio. Los componentes con tratamientos T6 tienen mayor resistencia a la corrosión que con tratamiento T5 y la aleación A356 T6 es menos resistente a la corrosión que la A357 T6.
23. Los diagramas de Nyquist confirman la conclusión 22, y de acuerdo con el parámetro R_{ct} las aleaciones estudiadas se pueden clasificar en orden decreciente de resistencia a la corrosión:

$$A357-T6 > A356 T6 > A357-T5 > A357$$

24. Los diagramas de impedancia permiten deducir que una vez rota la capa pasiva y nucleada la picadura por la presencia del ión cloruro, se produce la disolución del material, fenómeno que está caracterizado por el parámetro R_{ct} . Paralelamente se produce un proceso competitivo de adsorción de cloruros en la superficie del electrodo, cuantificado por el parámetro R_{ad} .
25. Las curvas de polarización anódicas tienen formas similares en todos los materiales estudiados. El potencial de picadura es más anódico con el tratamiento T6 que con el T5.

► COMPONENTES OBTENIDOS POR DISTINTOS PROCESOS SSM

- 26.** En los componentes conformados por Sub Liquidus Casting y New Rheocasting, la fase α y el silicio eutéctico son de menor tamaño que en los conformados por Thixocasting, debido a la adición de afinantes y a que el lingote no se recalienta al estado semisólido antes de la inyección.
- 27.** Los componentes conformados por Sub Liquidus Casting y New Rheocasting no presentan eutéctico ocluido ni atrapado en la fase α . En estos casos, el porcentaje de líquido eutéctico efectivo en el proceso de inyección es mayor que en el lingote recalentado utilizado en el proceso Thixocasting.
- 28.** Los componentes conformados por Sub Liquidus Casting y New Rheocasting, con tratamiento térmico T6, presentan mayor resistencia a tracción y menor ductilidad que los componentes de Thixocasting.