

Tabla de Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Objetivos..... | 1 |
| 1.1.1 | Objetivo General..... | 1 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 1 |
| 1.2 | Alcances..... | 2 |
| 2 | Metodología | 3 |
| 2.1 | Parámetros | 3 |
| 2.1.1 | Parámetros de tratamientos térmicos..... | 3 |
| 2.1.2 | Parámetros de creep..... | 4 |
| 2.1.3 | Parámetros de dureza..... | 5 |
| 2.2 | Respuestas | 5 |
| 2.3 | Caracterización | 5 |
| 2.3.1 | Microdureza..... | 5 |
| 2.4 | Equipos | 5 |
| 3 | Antecedentes | 6 |
| 3.1 | Proceso de Stir Casting..... | 6 |
| 3.2 | Módulo de elasticidad..... | 6 |
| 3.3 | Mecanismos de endurecimiento | 8 |
| 3.3.1 | Endurecimiento por dispersión..... | 8 |
| 3.4 | Termofluencia (creep) | 9 |
| 3.4.1 | Creep por dislocaciones..... | 11 |
| 3.4.2 | Creep por difusión | 12 |
| 3.5 | Creep por impresión | 12 |
| 3.6 | Tratamientos térmicos | 13 |
| 3.6.1 | Endurecimiento por solución..... | 13 |
| 3.6.2 | Endurecimiento por envejecimiento..... | 14 |
| 3.7 | Dureza y microdureza..... | 16 |
| 4 | Resultados | 18 |
| 4.1 | Procedimiento experimental..... | 18 |
| 4.1.1 | Materiales utilizados..... | 18 |
| 4.1.2 | Análisis de vibraciones..... | 18 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.3 | Tratamientos térmicos y mediciones de microdureza | 18 |
| 4.1.4 | Ensayos de creep | 19 |
| 4.2 | Resultados del análisis de vibraciones..... | 19 |
| 4.3 | Resultados de microdurezas | 20 |
| 4.4 | Ensayos de creep | 20 |
| 4.4.1 | Creep Al6061/ Nano Al2O3 0%..... | 21 |
| 4.4.2 | Creep Al6061/ Nano Al2O3 0,3%..... | 23 |
| 4.4.3 | Creep Al6061/ Nano Al2O3 0,5%..... | 25 |
| 4.4.4 | Creep Al6061/ Nano Al2O3 0,7%..... | 27 |
| 4.4.5 | Creep Al6061/ Nano Al2O3 0,9%..... | 29 |
| 5 | Discusión..... | 32 |
| 5.1 | Módulo de elasticidad..... | 32 |
| 5.2 | Ensayos de creep | 32 |
| 5.2.1 | Análisis Al6061/ Nano Al2O3 0,3% | 34 |
| 5.2.2 | Análisis Al6061/ Nano Al2O3 0,5% | 35 |
| 5.2.3 | Análisis Al6061/ Nano Al2O3 0,7% | 38 |
| 6 | Conclusiones | 41 |
| 7 | Bibliografía..... | 42 |
| 8 | Anexos..... | 44 |
| | Anexo A: Curvas obtenidas por extrapolación lineal para estimación de σ_0 | 44 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1: Parámetros de creep para muestras con 0% de Al_2O_3 | 4 |
| Tabla 2.2: Parámetros de creep para muestras con 0,3% de Al_2O_3 | 4 |
| Tabla 2.3: Parámetros de creep para muestras con 0,5% de Al_2O_3 | 4 |
| Tabla 2.4: Parámetros de creep para muestras con 0,7% de Al_2O_3 | 4 |
| Tabla 2.5: Parámetros de creep para muestras con 0,9% de Al_2O_3 | 4 |
| Tabla 4.1: Valores de módulos de elasticidad para muestras con 0% de alúmina. | 19 |
| Tabla 4.2: Valores de módulos de elasticidad para muestras con 0,3% de alúmina. | 19 |
| Tabla 4.3: Valores de módulos de elasticidad para muestras con 0,5% de alúmina. | 19 |
| Tabla 4.4: Valores de módulos de elasticidad para muestras con 0,7% de alúmina. | 19 |
| Tabla 4.5: Valores de módulos de elasticidad para muestras con 0,9% de alúmina. | 20 |
| Tabla 4.6: Módulo de elasticidad promedio para cada tipo de muestra. | 20 |
| Tabla 4.7: Valores de dureza Vickers tras los tratamientos térmicos..... | 20 |
| Tabla 4.8: Valores de dureza Vickers tras el tratamiento de sobre-envejecimiento..... | 21 |
| Tabla 4.9: Datos de los ensayos de creep para Al6061/ Nano Al_2O_3 0%. | 23 |
| Tabla 4.10: Datos de los ensayos de creep para Al6061/ Nano Al_2O_3 0,3%. | 25 |
| Tabla 4.11: Datos de los ensayos de creep para Al6061/ Nano Al_2O_3 0,5%. | 27 |
| Tabla 4.12: Datos de los ensayos de creep para Al6061/ Nano Al_2O_3 0,7%. | 29 |
| Tabla 4.13: Datos de los ensayos de creep para Al6061/ Nano Al_2O_3 0,9%. | 31 |
| Tabla 5.1: Resumen de valores calculados de σ_0 para muestras con 0,3% de alúmina..... | 35 |
| Tabla 5.2: Resumen de valores calculados de σ_0 para muestras con 0,5% de alúmina..... | 37 |
| Tabla 5.3: Resumen de valores calculados de σ_0 para muestras con 0,7% de alúmina..... | 39 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Diagrama de flujo de la metodología..... | 3 |
| Figura 3.1: Esquema del proceso de stir casting [2]..... | 6 |
| Figura 3.2: Esquema del método de excitación por impulso..... | 8 |
| Figura 3.3: Curva representativa del creep..... | 9 |
| Figura 3.4: Curva de deformación v/s esfuerzo..... | 10 |
| Figura 3.5: Curva de deformación v/s recíproco de la temperatura. | 11 |
| Figura 3.6: Mecanismo de creep por dislocaciones [7]..... | 12 |
| Figura 3.7: Esquema de creep por difusión [7]. | 12 |
| Figura 3.8: Esquema del mecanismo para ensayo de creep por impresión [9]. | 13 |
| Figura 3.9: Diagrama de fases para una aleación Al-Cu y las microestructuras que pueden desarrollarse durante un enfriamiento de aleación Al-4% Cu [10]. | 14 |
| Figura 3.10: (a) Un precipitado no coherente que no tiene relación con la estructura cristalina circundante de la matriz. (b) Precipitado coherente que muestra compatibilidad entre la estructura del precipitado y la estructura cristalina de la matriz [10]. | 15 |
| Figura 3.11: Los tres pasos en el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento y las microestructuras que se producen [10]..... | 16 |
| Figura 3.12: Efecto de la temperatura y tiempo de envejecimiento sobre el límite elástico de una aleación Al-4% Cu [10]..... | 16 |
| Figura 4.1: Ensayos de creep para diferentes tipos de muestra donde se muestra la inestabilidad de estas..... | 21 |
| Figura 4.2: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0% a 220°C para distintos esfuerzos constantes. | 22 |
| Figura 4.3: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0% a 250°C para distintos esfuerzos constantes. | 22 |
| Figura 4.4: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0% a 280°C para distintos esfuerzos constantes. | 23 |
| Figura 4.5: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,3% a 220°C para distintos esfuerzos constantes. | 24 |
| Figura 4.6: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,3% a 250°C para distintos esfuerzos constantes. | 24 |
| Figura 4.7: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,3% a 280°C para distintos esfuerzos constantes. | 25 |
| Figura 4.8: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,5% a 220°C para distintos esfuerzos constantes. | 26 |
| Figura 4.9: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,5% a 250°C para distintos esfuerzos constantes. | 26 |
| Figura 4.10: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,5% a 280°C para distintos esfuerzos constantes. | 27 |
| Figura 4.11: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,7% a 220°C para distintos esfuerzos constantes. | 28 |
| Figura 4.12: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,7% a 250°C para distintos esfuerzos constantes. | 28 |
| Figura 4.13: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,7% a 280°C para distintos esfuerzos constantes. | 29 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.14: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,9% a 220°C para distintos esfuerzos constantes. .30 | 30 |
| Figura 4.15: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,9% a 250°C para distintos esfuerzos constantes. .30 | 30 |
| Figura 4.16: Creep de Al6061/ Nano Al_2O_3 0,9% a 280°C para distintos esfuerzos constantes. .31 | 31 |
| Figura 5.1: Comparación de curvas de creep para distintas muestras a 405 [MPa] a 220°C.33 | 33 |
| Figura 5.2: Comparación de curvas de creep para distintas muestras a 315 MPa] y 250°C.33 | 33 |
| Figura 5.3: Velocidad de deformación versus esfuerzo aplicado en muestras con 0,3% de alúmina a diferentes temperaturas.34 | 34 |
| Figura 5.4: Gráfico log-log de la velocidad de deformación versus el esfuerzo aplicado en muestras de 0,3% de alúmina.35 | 35 |
| Figura 5.5: Gráfico log-log de la velocidad de deformación versus el esfuerzo efectivo aplicado en muestras de 0,3% de alúmina.36 | 36 |
| Figura 5.6: Gráfico log-log de la velocidad de deformación versus el esfuerzo aplicado en muestras de 0,5% de alúmina.36 | 36 |
| Figura 5.7: Gráfico de energía de activación Q para muestras de 0,5% de alúmina.37 | 37 |
| Figura 5.8: Gráfico log-log de la velocidad de deformación versus el esfuerzo efectivo aplicado en muestras con 0,5% de alúmina.38 | 38 |
| Figura 5.9: Gráfico log-log de la velocidad de deformación versus el esfuerzo aplicado en muestras con 0,7% de alúmina.38 | 38 |
| Figura 5.10: Gráfico de energía de activación Q para muestras de 0,7% de alúmina.39 | 39 |
| Figura 5.11: Gráfico log-log de la velocidad de deformación versus el esfuerzo efectivo aplicado en muestras con 0,7% de alúmina.40 | 40 |