

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFEECTO DE LA TEMPERATURA DE SOLUBILIZACION
SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN
UNA ALEACION AL-SI TIPO A319

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON
ESPECIALIDAD EN MATERIALES

QUE PRESENTA EL
ING. CESAR GERARDO DIMAS ACEVEDO

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 1999

**EFECCIO DE LA TEMPERATURA DE SOLUBILIZACION
SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN
UNA ALEACION AL-SI TIPO A319**

C G D A

1 9 9 9

TM
Z5853
.M2
FIME
1999
D5

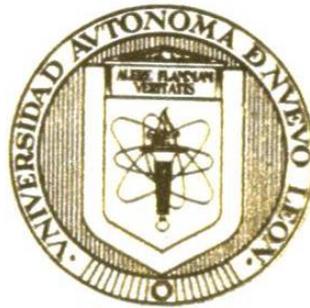


1020128457

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFEECTO DE LA TEMPERATURA DE SOLUBILIZACION
SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN
UNA ALEACION AL-SI TIPO A319

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON
ESPECIALIDAD EN MATERIALES

QUE PRESENTA EL
ING. CESAR GERARDO DIMAS ACEVEDO

CD. UNIVERSITARIA

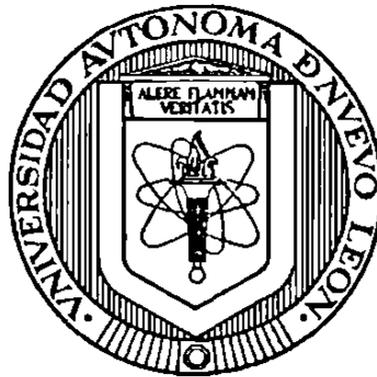
OCTUBRE DE 1999

TM
Z5853
.M2
FINE
1999
D5

0133-00360



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SOLUBILIZACIÓN
SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN UNA ALEACIÓN
AL-SI TIPO A319**

TESIS

**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

QUE PRESENTA EL

ING. CÉSAR GERARDO DIMAS ACEVEDO

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 1999

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "Efecto de la Temperatura de Solubilización sobre las Propiedades Mecánicas en una Aleación Al-Si Tipo A319" realizada por el Ing. César Gerardo Dimas Acevedo sea aceptada como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.

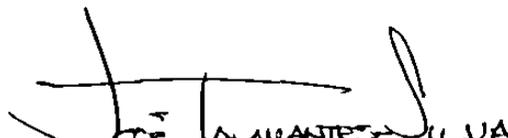
El Comité de Tesis



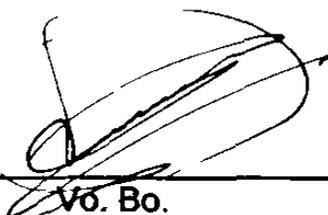
**Asesor
Dr. Rafael Colás Ortiz**



**Coasesor
Dr. Salvador Valtierra Gallardo**



**Coasesor
Dr. José Talamantes Silva**



**Vó. Bo.
Ing. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Postgrado**

San Nicolás de los Garza; Nuevo León, Octubre de 1999

DEDICATORIA

Gracias...

A Dios por permitirme disfrutar de este logro.

A mis padres Esthela y Adán, a quienes siempre llevo en mi corazón.

A mis hermanos Leticia, Adán, Laura Esthela y Marisela, porque también son parte de este esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado, y por haberme dado la oportunidad de ingresar a uno de sus programas de investigación.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, así como a su director, M.C. Cástulo Vela Villarreal por apoyar mi desarrollo académico.

Al M.C. Daniel Ramírez Villarreal, del Departamento de Mecánica de Materiales de FIME, quien desde el principio de mis estudios me brindó todo tipo de ayuda para llevar éstos a feliz término.

Al Dr. José Luis Cavazos García por inculcar en mi el interés por los estudios de investigación.

A todos los profesores del Doctorado en Ingeniería de Materiales por la enseñanza recibida durante mis estudios de postgrado.

Al Dr. Rafael Colás Ortiz por su asesoría y consejos brindados para la elaboración de esta investigación.

A la Dra. Martha Guerrero de quien obtuve en todo momento una amplia disposición para colaborar en este proyecto.

A la Dra. Patricia Rodríguez, así como al Dr. Alberto Pérez por el apoyo y consejos brindados a lo largo de mis estudios.

A los Doctores Salvador Valtierra y José Talamantes por dedicar parte de su tiempo en la revisión de esta tesis.

A la Empresa NEMAK por las facilidades prestadas para el desarrollo de esta tesis, particularmente al Ing. Alejandro González y al Dr. Eulogio Velasco por todas sus atenciones y por su disponibilidad para colaborar en la elaboración del presente estudio.

INDICE

	Página
Dedicatoria	
Agradecimientos	
Resumen	1
Capítulo 1. Introducción	4
Capítulo 2. Ensayos Mecánicos	6
2.1 Introducción	6
2.2 Pruebas Mecánicas en los Materiales	7
2.2.1 Clases de Ensayos Mecánicos	8
2.2.2 Selección de Probetas	10
2.3 Ensayo de Tensión	11
2.3.1 Gráfica Ingenieril Esfuerzo-Deformación	12
2.3.2 Gráfica Real Esfuerzo-Deformación	17
2.3.3 Efecto de la Velocidad de Deformación sobre las Propiedades del Esfuerzo de Flujo Plástico	20
2.3.4 Efecto de la Temperatura sobre las Propiedades del Esfuerzo de Flujo Plástico	21
2.3.5 Envejecimiento por Deformación	22
2.3.6 Inestabilidad Plástica en Tensión	23
2.4 Ensayo de Compresión	24
2.4.1 Distribución de la Deformación	25
2.4.2 Deformación en la Superficie Libre	26
2.4.3 Fractura por Cargas de Compresión	27
2.4.4 Geometría de la Muestra y Condiciones de Fricción	28
2.4.5 Inestabilidad Plástica en Compresión	30

Bibliografía del Capítulo 2	31
Tablas y Figuras del Capítulo 2	32
Capítulo 3. Aleaciones de Aluminio	45
3.1 Introducción	45
3.2 Clasificación de las Aleaciones de Aluminio	47
3.2.1 Aleaciones de Aluminio para Trabajo Mecánico	48
3.2.2 Aleaciones de Aluminio para Fundición	50
3.2.3 Sistema para la Designación de la Condición de Tratamiento de las Aleaciones de Aluminio	55
3.2.3a Sistemas para los Productos Endurecidos por Deformación	57
3.2.3b Sistemas para los Productos Tratables Térmicamente	58
3.3 Efecto de los Elementos de Aleación sobre el Aluminio	60
3.4 Aleaciones Aluminio-Silicio para Fundición	62
3.4.1 Microestructura de las Piezas Vaciadas	64
3.4.2 Microestructura de la Aleación Eutéctica binaria Al-Si	65
3.5 Control de Estructura	66
3.5.1 Espaciamiento del Brazo Dendrítico	67
3.5.2 Refinamiento de Grano en Aleaciones de Aluminio Hipoeutécticas	68
3.5.2a Mecanismo del Refinamiento de Grano	69
3.5.2b Control del Tamaño de Grano Mediante Análisis Térmico	71
3.5.3 Modificación de la fase Eutéctica de Silicio	71
3.5.3a Control de la Modificación del Eutéctico Mediante Análisis Térmico	73
3.5.4 Porosidad	74
3.5.4a Porosidad por Contracción	75
3.5.4b Porosidad por gas	75
3.5.4c Efecto de la Porosidad sobre las Propiedades	75

3.5.5 Tratamiento Térmico en las Aleaciones de Aluminio	76
3.5.5a Tratamiento Térmico de Solubilización	77
3.5.5b Enfriamiento Rápido o Temple	78
3.5.5c Endurecimiento por Envejecimiento	79
Bibliografía del Capítulo 3	82
Tablas y Figuras del Capítulo 3	84
Capítulo 4. Procedimiento Experimental	103
4.1 Introducción	103
4.2 Caracterización del Material	104
4.3 Tratamientos Térmicos	106
4.3.1 Tratamiento Térmico de Solubilizado	106
4.3.2 tratamiento de Endurecimiento por Envejecimiento T6	107
4.3.3 Tratamiento Térmico de Sobre-envejecido o Estabilizado T7	108
4.4 Pruebas de Microdureza	109
4.5 Ensayos de Compresión	110
Bibliografía del Capítulo 4	111
Tablas y Figuras del Capítulo 4	112
Capítulo 5. Resultados	122
5.1 Introducción	122
5.2 Dureza Encontrada en las Diferentes Condiciones de Tratamiento	123
5.3 Gráficas Esfuerzo-Deformación Verdaderos o Curvas de Fluencia	123
5.4 Resistencia Mecánica	124
5.4.1 Esfuerzo Plástico Uniforme	125
5.5 Deformación en el Límite del Esfuerzo Plástico Uniforme	125
5.6 Relación entre el Esfuerzo y la Velocidad de Deformación	125
5.7 Sensibilidad a la Velocidad de Deformación	126
5.8 Exponente de Endurecimiento por Deformación (n) y Coeficiente de Resistencia (K)	126

Tablas y Figuras del Capítulo 5	127
Capítulo 6. Análisis y Discusión de Resultados	168
6.1 Introducción	168
6.2 Efecto del Tratamiento Térmico sobre la Dureza y Resistencia del Material	169
6.3 Curvas de Fluencia	170
6.4 Resistencia Mecánica	171
6.5 Esfuerzo Plástico Uniforme	171
6.6 Ductilidad y Deformación Plástica Uniforme	173
6.7 Relación entre el Esfuerzo y la Velocidad de Deformación	173
6.8 Sensibilidad a la Velocidad de Deformación	174
6.9 Relación entre el Esfuerzo Verdadero y la Deformación Verdadera	177
Bibliografía del Capítulo 6	178
Gráficas del Capítulo 6	180
Capítulo 7 Conclusiones	181
Sugerencias y Recomendaciones a Trabajos Futuros	184
Lista de Tablas	185
Lista de Figuras	186
Resumen Autobiográfico	193

Resumen

El estudio que aquí se presenta tiene el propósito de mostrar las diferentes propiedades mecánicas bajo ensayos de compresión de una aleación de aluminio tipo A319 para dos condiciones de estructura: modificada y refinada y únicamente modificada.

El material en las dos condiciones descritas se sometió a tres tratamientos térmicos, siendo éstos los más comúnmente efectuados a este tipo de aleaciones, a saber: a) solubilizado (T4), b) envejecido (T6) y c) sobre-envejecido o estabilizado (T7). Estos tres tratamientos se llevaron a cabo para tres diferentes temperaturas de su correspondiente tratamiento de solubilizado, con el objeto de apreciar la manera en que se suscitan los cambios en las propiedades mecánicas de la aleación conforme se varía esta temperatura.

Los ensayos de compresión fueron realizados a tres diferentes velocidades de cabezal constante, resultando en las siguientes tres velocidades iniciales de deformación: a) 0.00046 s^{-1} , b) 0.0046 s^{-1} y c) 0.046 s^{-1} .

Se obtuvieron, entre otras propiedades, el grado de dureza alcanzado en los diferentes tratamientos térmicos, así como el nivel del esfuerzo soportado por el material en sus diferentes condiciones de prueba y de tratamiento. A través de las curvas de fluencia se determinó la resistencia del material en

función de su esfuerzo de cedencia, y en lo que a las características de plasticidad se refiere, se determinó el esfuerzo límite de plasticidad uniforme, la deformación presentada en este punto, así como los valores del exponente de endurecimiento por deformación y el valor del coeficiente de resistencia.

Las condiciones de inestabilidad exhibidas por el material durante las distintas pruebas se analizaron mediante la sensibilidad a la velocidad de deformación, describiéndose su relación con el movimiento de las dislocaciones y la interferencia que los precipitados y partículas extrañas presentan para con aquellas.

Entre algunas conclusiones que se pueden deducir del presente estudio se encontró que el material solubilizado a la mayor temperatura (480 °C) independientemente de la estructura (modificada o modificada y refinada) es más resistente en sus condiciones de tratamiento T6 y T7, resultando ser más blando en la condición T4, lo que implica el endurecimiento por precipitación.

En lo que concierne a la resistencia, se puede afirmar que ambas condiciones de estructura muestran mayores valores de resistencia en cedencia y máxima cuando la temperatura de solubilizado fue de 480 °C.

Con respecto a las condiciones de inestabilidad, se puede concluir que en ambas condiciones de estructura el material exhibe mayor estabilidad en los tratamientos cuya temperatura de solubilizado fue de 480 °C.

Siguiendo con el comportamiento plástico del material, se puede añadir que las curvas de fluencia exhibidas por las aleaciones en estudio no cumplen plenamente con la relación lineal descrita por la ley de la potencia en la ecuación $\sigma = K\varepsilon^n$; no obstante, se observaron mayores valores en el exponente de endurecimiento por deformación en la estructura únicamente modificada. Las razones de esto y de otras conclusiones encontradas a lo largo de este

estudio se explican a partir de las teorías y análisis llevados a cabo por otros investigadores.