

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 687**

51 Int. Cl.:

C22C 21/02 (2006.01)

C22C 21/08 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02727102 .2**

96 Fecha de presentación: **03.05.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1392877**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.03.2004**

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA CHAPA DE ALEACIÓN DE ALUMINIO
CON EXCELENTE PLEGABILIDAD.**

30 Prioridad:
03.05.2001 US 288382 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.01.2012

73 Titular/es:
**NOVELIS INC.
191 EVANS AVENUE
TORONTO, ON M8Z 1J5, CA**

72 Inventor/es:
**BULL, Michael Jackson y
LLOYD, David James**

74 Agente: **Tomas Gil, Tesifonte Enrique**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 372 687 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la fabricación de una chapa de aleación de aluminio con excelente plegabilidad.

5 Campo técnico

[0001] Esta invención se refiere a la fabricación de una chapa de aleación de aluminio para la industria de la automoción, particularmente para aplicaciones de panel de carrocería, con una excelente plegabilidad, junto con una buena respuesta de secado de pintura y reciclabilidad.

10

Antecedentes de la técnica

[0002] Se han desarrollado y utilizado varios tipos de aleaciones de aluminio en la producción de automóviles, particularmente como paneles de carrocería de automóvil. El uso de aleaciones de aluminio para este propósito tiene la ventaja de reducir sustancialmente el peso de los automóviles. No obstante, la introducción de paneles de aleación de aluminio crea su propio conjunto de necesidades. Para ser útil en las aplicaciones automovilísticas, un producto de chapa de aleación de aluminio debe poseer buenas características de modelado en la condición en que se recibe, de modo que puede ser doblado o modelado como se desea sin quebrarse, romperse o arrugarse. En particular, los paneles deben ser capaces de resistir un plegado severo, como ocurre durante las operaciones de engatillado, sin quebrarse. El engatillado es la forma común de pegar las chapas de cierre externas a paneles de soporte subyacentes, y resulta en que los bordes de la chapa quedan doblados casi sobre si mismos. Además de esta excelente plegabilidad, los paneles de aleación de aluminio, después de pintarse y secarse, deben tener suficiente resistencia para resistir abolladuras y soportar otros impactos.

[0003] Las aleaciones de aluminio de la serie AA (Asociación de Aluminio) 6000 se utilizan generalmente para aplicaciones de panel automovilísticas. Es bien conocido que un límite de elasticidad (LE) inferior T4, y una cantidad reducida de Fe, fomentará una modelabilidad mejorada, particularmente posibilidad de engatillado. Un límite de elasticidad inferior puede lograrse reduciendo el contenido de soluto (Mg, Si, Cu) de la aleación, pero esto generalmente ha dado como resultado una respuesta de secado de la pintura pobre, menor que 200 MPa T8 (0% tensión). Esta pobre respuesta de secado de pintura puede contrarrestarse mediante el incremento del espesor, o por el envejecimiento artificial de los paneles formados. No obstante, ambos métodos aumentan el coste y son opciones poco atractivas. Además, un contenido reducido de Fe no es sostenible con el uso de cantidades significativas de desechos en forma de metal reciclado. Esto se debe a que la corriente de desechos de las plantas de estampación tiende a estar contaminada con algunos desechos de acero que causa un aumento en nivel el Fe.

[0004] Además, las características de material necesarias de los paneles externos e internos son lo suficientemente diferentes para que la tendencia natural sea la especialización de las aleaciones y las vías de procedimiento. Por ejemplo, una aleación AA5000 se puede utilizar para paneles internos y una aleación AA6000 para paneles externos. No obstante, para promover un reciclaje eficaz es muy conveniente disponer de las aleaciones usadas para construir ambos, el panel interior y exterior de un capó, tapa de maletero etc., para tener una química común o altamente compatible. Como mínimo, la corriente de desecho debe ser capaz de hacer una de las aleaciones, p. ej., la aleación para el panel interno.

[0005] En la patente estadounidense 5,266,130 por Uchida y colaboradores se describe un procedimiento para la fabricación de paneles de aleación de aluminio para la industria de la automoción. Su aleación incluye como componentes esenciales niveles muy amplios de Si y Mg y puede incluir también Mn, Fe, Cu, Ti, etc. Los ejemplos de la patente muestran un tratamiento de preenvejecimiento que incorpora una velocidad de enfriamiento de 4°C/min de 150°C a 50°C.

[0006] En la patente estadounidense 5,616,189 por Jin y colaboradores se describe otro procedimiento para fabricar paneles de aluminio para la industria de la automoción. Nuevamente, las aleaciones utilizadas contienen Cu, Mg, Mn y Fe. La chapa de aluminio producida a partir de estas aleaciones se sometió a un tratamiento de preenvejecimiento de 5 horas a 85°C. La descripción expone además que la chapa se puede bobinar a 85°C y se le permite enfriarse lentamente a temperatura ambiente a una velocidad de menos de 10°C/hr. La chapa de aluminio usada en esta patente era una chapa de fundición continua (FC) y los productos de chapa producidos de esta manera se ha descubierto que muestran una plegabilidad pobre. Otro procedimiento se divulga en el documento WO-A-98/37251.

[0007] Es un objeto de la presente invención proporcionar una técnica de tratamiento mejorada con la que se forma una chapa de aleación de aluminio que tiene excelente plegabilidad.

[0008] Es otro objeto de la invención proporcionar un producto de chapa de aleación de aluminio con buena respuesta de secado de pintura.

[0009] Es otro objeto de la invención proporcionar un producto de chapa de aleación de aluminio que es capaz de ser reciclado para uso en la fabricación de paneles de carrocería de automóvil.

Descripción de la invención

[0010] Conforme a esta invención, se obtiene una chapa de aleación de aluminio de plegabilidad mejorada utilizando una aleación de la serie AA6000, con contenidos de Mg y Si cuidadosamente seleccionados y, con un contenido aumentado de manganeso y un tratamiento de preenvejecimiento específico. La aleación usada de acuerdo con esta invención es una con contenido en porcentaje en peso de 0.50 - 0.75% de Mg, 0.7 - 0.85% de Si, 0.1- 0.3% de Fe y 0.15 - 0.35% de Mn. Según una forma de realización alternativa, la aleación también puede contener de 0.2 - 0.4% de Cu.

[0011] El procedimiento usado para la fabricación del producto de chapa es el procedimiento T4 con preenvejecimiento, es decir, T4P. El tratamiento preenvejecimiento es el último paso del procedimiento. Por consiguiente, la invención proporciona un procedimiento según la reivindicación 1.

[0012] Las propiedades físicas objetivo para los productos de chapa de esta invención son las siguientes:

T4P, LE	90 - 120 MPa
T4P UTS	>200 MPa
T4P E1	>28% ASTM, >30°/a (usando muestra JIS)
PLEGADO, r_{min}/e	<0.5
T8 (tensión 0%), LE	>210 MPa
T8 (tensión 2%), LE	>250 MPa

[0013] En el listado anterior, T4P indica un procedimiento en el que la aleación ha sufrido un tratamiento térmico en solución, un tratamiento de preenvejecimiento y un envejecimiento natural durante al menos 48 horas. UTS indica la resistencia a la tracción, LE indica el límite de elasticidad y E1 indica alargamiento total. PLEGADO representa el radio de curvatura en relación al espesor de la chapa y se determina según el método estándar ASTM 290C de prueba de plegado de cubrimiento.

T8 (tensión 0% o 2%) representa el LE después de un simulado de secado de pintura de bien 0% o 2% de tensión y 30 min a 177°C.

[0014] Para aleaciones sin Cu se revelan las relaciones funcionales que permiten a las resistencias T4P ser relacionadas con la composición de aleación, y la resistencia del secado de pintura con la resistencia T4P.

[0015] El límite de elasticidad T4P viene dado por:

$$\text{T4P LE (MPa)} = 130 (\text{Mg\% en peso}) + 80 (\text{Si\% en peso}) - 32$$

donde el T4P se obtiene por una simulación de preenvejecimiento de 85°C durante 8 hrs.

[0016] El límite de elasticidad T8 (tensión 0%) viene dado por:

$$\text{T8 (MPa)} = 0.9 (\text{T4P}) + 134$$

[0017] Utilizando estas relaciones las siguientes aleaciones cumplirán los requisitos de T4P/T8 (0%):

T4P 90 MPa, T8 215 MPa - (0.5% en peso de Mg - 0.7% en peso de Si)
 T4P 110 MPa, T8 233 MPa - (0.6% en peso de Mg - 0.8% en peso de Si)
 T4P 120 MPa, T8 242 MPa - (0.75% en peso de Mg - 0.7% en peso de Si)

y esto da el intervalo de composición nominal para las aleaciones de la invención de A1-0.5 a 0.75% en peso de Mg - 0.7 a 0.85% en peso de Si.

[0018] Para aleaciones con Cu, las relaciones funcionales no están tan claras y dependen del contenido de Mg y de Si. Es deseable un contenido de Cu de aproximadamente 0.2 - 0.4% en peso para un rendimiento mejorado del secado de la pintura.

[0019] Por cuestiones de control de tamaño de grano, es preferible tener al menos un 0.2% en peso de Mn. El Mn también proporciona cierto fortalecimiento a la aleación. El Fe debería ser mantenido en el mínimo límite práctico, no menos de un 0.1% en peso, o más de un 0.3% en peso para evitar dificultades en el modelado.

[0020] Para el panel externo el nivel de Fe en la aleación tenderá en dirección al mínimo para un plegado mejorado.

[0021] La aleación usada según esta invención se funde por fundición semicontinua, por ejemplo, por el sistema de fundición DC (Direct Chill). Los lingotes son homogenizados y laminados en caliente para recuperar el espesor, luego se laminan en frío y se someten a un tratamiento térmico en solución. La banda tratada térmicamente es luego enfriada por enfriamiento rápido a una temperatura de aproximadamente 60 -120°C y bobinada. Este enfriamiento

se realiza preferiblemente a una temperatura de aproximadamente 70 - 100°C, siendo particularmente preferido un intervalo de 80 - 90°C. A continuación, se permite a la bobina enfriarse lentamente a temperatura ambiente a una velocidad de menos de aproximadamente 10°C/hr, preferiblemente a menos de 5°C/hr. Es particularmente preferido tener una velocidad de enfriamiento muy lenta inferior a 3°C/hr.

[0022] La homogenización se lleva a cabo típicamente a una temperatura superior a 550°C durante más de 5 horas y el espesor de salida recuperado es típicamente de aproximadamente 2.54 - 6.3mm a una temperatura de salida de aproximadamente 300 - 380°C. La bobina fría tiene normalmente un espesor de 1.0mm y el tratamiento térmico en solución se lleva a cabo típicamente a una temperatura de aproximadamente 530 - 570°C.

[0023] Alternativamente, la chapa puede someterse a inter-recocido, en cuyo caso la chapa recuperada se lamina en frío a un espesor intermedio de aproximadamente 2.0 - 3.0mm. La chapa intermedia se recuece en lotes a una temperatura de aproximadamente 345 - 410°C, luego además se lamina en frío a aproximadamente 1.0mm y luego se somete a tratamiento térmico en solución.

[0024] El preenvejecimiento según esta invención es típicamente el paso final del procedimiento T4, que sigue al tratamiento térmico en solución. No obstante, también es posible llevar a cabo el preenvejecimiento después de que la banda de aleación de aluminio haya sido recalentada a una temperatura deseada.

[0025] También se ha descubierto que es particularmente provechoso llevar a cabo el enfriamiento rápido de la temperatura de puesta en solución en dos estadios. La banda de aleación es primeramente enfriada rápidamente con aire a 400 - 450°C, seguido de un enfriamiento rápido de agua.

[0026] El producto de chapa de la invención tiene un LE inferior a 125 MPa en el temple T4P y mayor que 250 MPa en el temple T8(2%). Con un inter-recocido, el producto de chapa obtenido tiene un LE inferior a 120 MPa en el temple T4P y mayor que 245 MPa en el temple T8(2%).

[0027] Se obtiene un producto de chapa de calidad mejorada según esta invención si los lingotes de aleación de aluminio iniciales son grandes piezas de fundición a escala comercial en lugar de las piezas de fundición más pequeñas de laboratorio. Para el mejor resultado, las piezas de fundición iniciales tienen un espesor de fundición de al menos 450mm y una anchura de al menos 1250mm.

[0028] Con el procedimiento de esta invención, se obtiene una chapa con valores de plegabilidad muy bajos (r/e), por ejemplo, en el orden de 0 - 0.2, con una respuesta de secado de pintura excelente. Tales valores bajos son muy inusuales para aleaciones AA6000 y, por ejemplo, una chapa de aleación AA6111 procesada de forma convencional tendrá un r/e típico en el orden de 0.4 - 0.45.

[0029] Un procedimiento preferido según la invención para producir una aleación de aluminio para aplicaciones de panel externas incluyen lingotes de fundición DC y lijado de superficies, seguido por homogenización de precalentamiento a 520°C durante 6 horas (temperatura del horno), luego a 560°C durante 4 horas (temperatura del metal). El lingote es luego laminado en caliente a un espesor de salida de 3.5mm con una temperatura de salida de 300 - 330°C, seguido de una laminación en frío de 2.1 a 2.4mm. La chapa se recuece en lotes durante 2 horas a 380°C +/- 15°C seguida de otra laminación en frío a 0.85 a 1.0mm. Esto es seguido por un tratamiento térmico en solución con un PMT de 530 - 570°C, luego se enfría rápidamente con aire a 450 - 410°C (velocidad de enfriamiento 20-75°C/s) y un enfriamiento rápido de agua de 450 - 410 a 280 - 250°C (velocidad de enfriamiento 75 - 400°C/s). Finalmente, la chapa se enfría rápidamente a 80 - 90°C y se bobina (temperatura actual de bobinado). La bobina es luego enfriada a 25°C. Este procedimiento es la práctica T4P con inter-recocido.

[0030] Los paneles externos requieren una alta resistencia después de la pintura para resistir abolladuras, tener una apariencia de superficie crítica y ser engatillables.

Breve descripción de los dibujos

[0031] En los dibujos que ilustran la invención:

La fig. 1 muestra el efecto del contenido de Mn en la plegabilidad,

La fig. 2 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en propiedades de tensión (T4P),

La fig. 3 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en el LE (T4P y T8[0%]),

La fig. 4 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en los valores N y R (T4P),

La fig. 5 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en la plegabilidad (T4P),

Fig. 6 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en propiedades de tensión (T4P con inter-recocido),

La fig. 7 es un gráfico que muestra una comparación de valores LE para diferentes temples,

La fig. 8 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en el LE (T4P y T8(2%) con

inter-recocido),

La fig. 9 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución de los valores N y R (T4P con inter-recocido), y

La fig. 10 es un gráfico que muestra los efectos de la temperatura de puesta en solución en la plegabilidad (T4P con inter-recocido).

La fig. 11a muestra la estructura granular de una chapa de temple T4P de una aleación de lingote grande con Cu,

La fig. 11b muestra la estructura granular de una chapa de temple T4P de una aleación de lingote grande sin Cu,

La fig. 11c muestra la estructura granular de una chapa de temple T4P de una aleación de lingote pequeño con Cu,

La fig. 11d muestra la estructura granular de una chapa de temple T4P de una aleación de lingote pequeño sin Cu,

La fig. 12 es un gráfico de números de partículas por mm^2 v. área de partícula para una bobina de temple T4P con Cu, y

La fig. 13 es un gráfico de números de partículas por mm^2 v. área de partícula para una bobina de temple T4P sin Cu.

Ejemplo comparativo 1

[0032] Se evaluaron dos aleaciones con y sin presencia de manganeso. La aleación AL1 contenía un 0.49% de Mg, un 0.7% de Si, un 0.2% de Fe, un 0.011% de Ti y el resto aluminio e impurezas incidentales, mientras la aleación AL2 contenía un 0.63% de Mg, un 0.85% de Si, un 0.098% de Mn, un 0.01% de Fe, un 0.013% de Ti y el resto aluminio e impurezas incidentales.

[0033] Las aleaciones fueron fundidas en laboratorio como lingotes DC de 3-3/4 x 9". Estos lingotes se lijaron y homogenizaron durante 6 horas a 560°C y se laminaron en caliente a 5mm, a continuación se laminaron en frío a 1.0mm. La chapa fue puesta en solución a 560°C en un baño de sal y enfriada rápidamente para simular la práctica T4P.

[0034] Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 1:

TABLA 1

Aleación	RENDIMIENTO T4P (MPa)	RENDIMIENTO SECADO DE PINTURA (MPa)	PLEGABILIDAD r_{MIN} /e
AL1	87.5	219	0.2
AL2	111	213	0

[0035] Ambas aleaciones dieron un 29 - 30% de alargamiento de tracción con configuración de muestra JIS (estándar japonés). El secado de pintura es T8 (tensión 0%).:

Ejemplo 2

[0036] Se prepararon una aleación conforme a la invención (AL3) y tres aleaciones comparativas (AL4, C1 y C2) con las composiciones de la tabla 2 que aparece a continuación:

Tabla 2

Composición química (% en peso, ICP)							
	Aleación	Mg	Si	Mn	Cr	Fe	Ti
Invención	AL3	0.62	0.80	0.19	---	0.22	0.01
Comparación	AL4	0.60	0.80	0.11	0.11	0.21	0.01
	C1	0.60	0.81	0.00	---	0.20	0.01
	C2	0.62	0.84	0.10	---	0.22	0.01

(a) las aleaciones eran lingotes DC de 3.75 x 9 pulgadas fundidos y la superficie del lingote estaba lijada, seguido de homogenización durante 6 horas a 560°C. Los lingotes se laminaron luego en caliente y a continuación se laminaron en frío a aproximadamente 1mm de espesor. La chapa fue sometida a tratamiento térmico en solución durante 15 segundos a 560°C, luego se enfrió rápidamente a 80°C y se bobinó. La bobina se enfrió luego lentamente a una velocidad de 1.5 - 2.0°C/hr a temperatura ambiente, y ese envejeció naturalmente durante una semana. Los resultados se muestran en la tabla 3. La fig. 1 muestra el efecto del contenido de Mn en la plegabilidad. Para la plegabilidad de la chapa sin tensión previa con el mínimo r/e como observado a simple vista, es difícil de observar una tendencia clara - los resultados están en tabla 3. No obstante, como se ha visto en la fig.1, la aleación con 0% en peso de Mn tiene una fractura en la superficie. En aquella con 0.1% en peso de Mn, el plegado está libre de

fractura, pero se ven arrugas en la superficie. Con un 0.2% en peso de Mn, la superficie está libre de fracturas y libre de arrugas en la superficie. Se piensa que el arrugado es un precursor de la formación de grietas residuales.

- 5 (b) en otro procedimiento, la aleación AL3 se procesó por producción dimensionada de fundición DC en lingotes y homogenizó durante 1 hora a 560°C. Los lingotes fueron laminados en caliente a 5.9mm de espesor de salida, luego laminados en frío a 2.5mm de espesor. Esta chapa de espesor intermedio fue inter-recocida durante 2 horas a 360°C, luego se laminó en frío a 1mm de espesor y se sometió a tratamiento térmico en solución a 560°C. Luego la chapa se enfrió rápidamente a 80°C, se bobinó y fue preenvejecida durante 8 horas a 80°C.

- 10 [0037] Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 3

Propiedades											
	Aleación	Orien.	Propiedades de tracción/T4P					Respuesta de secado/T8(0%)			Plegabilidad $r_{min. /e 2\%}$ predeformación
			0.2%LE (MPa)	UTS (MPa)	EL(%)	valor n	valor R	0.2%LE (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	
Invención	AL3-T4P	L	110	230	26	0.29	0.56	212	296	20	0
		T	109	229	26	0.29	0.57	211	297	20	0
Compa- ración	AL4-T4P	L	105	222	24	0.29	0.54	210	291	20	0
		T	103	222	23	0.29	0.54	212	292	19	0
	C1- T4P	L	110	230	27	0.29	0.58	195	283	22	0.15
		T	111	232	25	0.29	0.63	196	287	19	0.15
	C2- T4P	L	106	223	26	0.29	0.6	204	289	20	0
		T	106	224	25	0.29	0.56	198	285	22	0

- 15

Tabla 4

Propiedades											
	I.D.	Orien. L	Propiedades de tracción/T4P					Respuesta de secado/T8 (0%)			Plegabilidad
			0.2%LE (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	valor n	valor R	0.2%LE (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	r _{min.} /e 5% de predeformación
Invención	AL3	L	102	225	26	0.29	0.73	205	291	20	0
		T	99	219	24	0.3	0.61	199	283	20	0
El anterior es un ejemplo excelente de límite de elasticidad bajo, endurecimiento rápido y plegabilidad incluso con un 5% de predeformación.											

Ejemplo 3

[0038] Se llevaron a cabo pruebas en dos aleaciones AL5 y AL6, realizándose la fundición y el procesamiento en plantas comerciales. Las composiciones de estas aleaciones se muestran a continuación en la tabla 6:

Tabla 5

Aleación	Composición en % en peso (ICP)					Bobina #	Espesor de laminación en caliente (mm)
	Cu	Mg	Si	Fe	Mn		
AL5	0.30	0.58	0.77	0.24	0.21	B-1	3.5
	0.30	0.59	0.77	0.24	0.21	B-2	2.54
AL6		0.58	0.77	0.24	0.22	B-3	2.54
		0.58	0.77	0.24	0.22	B-4	3.5

[0039] Dos lingotes cada uno de una de las composiciones AL5 y AL6 dadas en la tabla 5 se fundieron por el método DC, se lijaron, se homogeneizaron a 560°C y se laminaron en caliente. Un lingote AL5 (bobina B-2) y un lingote AL6 (bobina B-3) se laminaron en caliente a 2.54 mm, se laminaron en frío en dos pasadas a 0.93 mm de espesor y se pusieron en solución para obtener el temple T4P. El otro par de lingotes AL5 (bobina B-1) y AL6 (bobina B-4) se laminaron en caliente a 3.5 mm, se laminaron en frío a 2.1 mm de espesor en una pasada, se recocieron por lotes, se laminaron en frío a un espesor final de 0.93 mm en dos pasadas y luego se pusieron en solución para obtener chapas de temple T4P (espesor intermedio recocido). Las bobinas se recocieron en lote a 380°C y se pusieron a remojo durante ~2 h. Grandes porciones de todas las bobinas fueron puestas en solución en la línea CASH (continuos annealing and solution heat treatment) (recocido continuo y tratamiento térmico en solución) a 550°C usando la práctica T4P. Las partes restantes de las bobinas se pusieron en solución usando el mismo procedimiento pero a 535°C.

[0040] Se cortaron muestras de todas las bobinas de espesores de relaminado, intermedios y finales para realizar evaluaciones.

[0041] Se examinaron ópticamente las microestructuras en las cuatro bobinas y se cuantificaron las estructuras granulares midiendo los tamaños de 150 a 200 granos a 1/4 de espesor. Las propiedades mecánicas se determinaron tras cinco y seis días de envejecimiento natural, y el radio de doblado respecto a la proporción de espesor de la chapa, r/e, se determinó usando el método de prueba de plegado de cubrimiento estándar. El valor mínimo r/e se determinó dividiendo el radio mínimo del mandril que producía un plegado libre de fracturas por el espesor de la chapa. El radio de los mandriles usados para las mediciones fue de 0.025, 0.051, 0.076, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.41, 0.051, 0.61 mm etcétera, y la plegabilidad puede variar dentro de una diferencia de un tamaño de mandril.

[0042] Las microestructuras como pulidas en ambas chapas, la AL5 que contiene un 0.3% de Cu y la AL6 sin Cu muestran la presencia de plaquetas gruesas alargadas ricas en Fe dispuestas paralelamente a la dirección de laminación. Las aleaciones también contienen una cantidad menor de Mg₂Si no disuelto, excepto la aleación AL6 puesta en solución a 535°C que contiene cantidades relativamente grandes

[0043] Los resultados de las mediciones de tamaño del grano de la tabla 6 muestran que la estructura granular en las chapas AL5 y AL6 puestas en solución a 535°C y 550°C no están influidas por el cambio de la temperatura de puesta en solución de 535 a 550°C. Las aleaciones AL5 y AL6 muestran un tamaño medio de grano de aproximadamente 34 x 14 µm y 35 x 19 µm (horizontal x a través de espesor), respectivamente. En general, la distribución del tamaño de grano en la dirección horizontal de ambas aleaciones es bastante similar, aunque hay diferencias en la dirección a través del espesor. La media del tamaño del grano a través del espesor en la aleación AL6 es aproximadamente 5 µm mayor que en la aleación AL5 con Cu.

Tabla 6

Resultados obtenidos de la medición del tamaño del grano de las chapas AL5 y AL6-T4P H: a lo largo de la dirección de laminación, V: perpendicular a la dirección de laminación.							
Aleación (bobina #)	Temp. de la solución	Orient.	media (µm)	Valor medio (µm)	Desv. Estándar	Relación media de aspecto	% granos (>40 µm)

	(°C)				(μM)	(H/V)	
AL5 B-2	535	H	34.4	30.3	18.2	2.44	31.1
		V	14.1	13.0	5.9		0.8
	550	H	33.0	29.3	18.6	2.26	25.7
		V	14.6	14.1	6.8		0
AL6 B-3	535	H	36.4	32.3	20.2	1.87	32.5
		V	19.5	17.7	10.6		3.0
	550	H	33.0	29.9	16.0	1.70	29.5
		V	19.4	18.5	7.8		2.0

[0044] Las propiedades de tracción y plegado de las bobinas de temple T4P en las direcciones L y T se recogen en la tabla 7. La figura 2 compara las propiedades de tracción de las aleaciones AL5 con 0.3% de Cu y AL6 sin Cu y subraya las diferencias debido a cambios en la temperatura de 550 a 535°C. La aleación AL5 es más fuerte que la AL6 en ambas direcciones L y T y en ambas temperaturas de puesta en solución. Las resistencias de rendimiento y tracción de ambas aleaciones aumentan un tanto con la temperatura de puesta en solución más alta, aunque el impacto es más significativo para la aleación AL6. Debe observarse que la resistencia inferior de la aleación AL6 es consistente con la presencia de una gran cantidad de partículas de Mg₂Si no disueltas.

Tabla 7

Propiedades mecánicas de las chapas AL5 y AL6 en el temple T4P									
Aleación (bobina #)	Temp. de solución (°C)	Temple	Dir.	LE (MPa)	UTS(MPa)	% total E1	n	R	Min (r/e)
AL5 B-2	535	T4P	L	112.7	227.8	23.3	0.28	0.67	0.06
			T	109.5	225.3	24.3	0.28	0.80	0.06
		T8(2%)	L	262.7	318.1	17.2	0.13	0.67	-
	550	T4P	T	256.3	313.3	18.5	0.14	0.80	-
			L	118.1	235.2	23.6	0.28	0.65	0.16
		T8(2%)	T	114.8	232.4	25.7	0.27	0.81	0.16
AL6 B-3	535	T4P	L	98.5	199.7	23.4	0.27	0.80	0.16
			T	94.5	191.2	22.8	0.27	0.78	0.05
		T8(2%)	L	223.1	279.1	15.7	0.14	0.80	-
	550	T4P	T	212.5	266.3	16.6	0.14	0.82	-
			L	114.5	222.3	23.8	0.27	0.82	0.16
		T8(2%)	T	109.5	212.52	22.4	0.27	0.69	0.05
			L	259.2	312.6	16.8	0.13	0.87	-
			T	248.1	298.3	16.4	0.13	0.71	-

[0045] La respuesta de secado de la pintura, que es la diferencia entre los LE en los temples T4P y T8(2%), se compara en la figura 3. Puede parecer que los cambios en la temperatura de puesta en solución no influye en el tiempo de secado de la pintura de la AL5, pero afecta de forma significativa en el de la aleación AL6. Como se ha señalado anteriormente, esto está relacionado con la presencia de Mg₂Si no disuelto que "vacía" la matriz de solutos de endurecimiento. La respuesta de secado de pintura de la aleación AL5 es de aproximadamente 150 MPa y es ~10 MPa mejor que la aleación AL6 cuando se ha puesto en solución a 550°C. Ambas aleaciones muestran claramente excelentes combinaciones de fuerzas bajas en el temple T4P y alta resistencia en el temple T8(2%).

[0046] Los valores n y R medidos a partir de datos del ensayo de tracción para los materiales del temple T4P se muestran en la figura 4. Los valores n son bastantes similares en ambas aleaciones, isotrópicos y no cambian con la temperatura de puesta en solución. El valor R en la aleación AL5 es marginalmente inferior que el de la aleación AL6 en la dirección L, pero la tendencia se invierte en la dirección T.

[0047] La figura 5 muestra que los valores r/e de ambas aleaciones son inferiores a 0.2 en las direcciones L y T. El valor r/e es marginalmente mejor para la aleación AL5 con 0.3% de contenido de Cu que para su equivalente libre de Cu, y el mejor valor se obtiene con la temperatura de puesta en solución menor.

[0048] Se observará que una combinación de-100 MPa y anteriormente 250 MPa LE en los temples T4P y T8(2%) no se ha visto en las aleaciones de automoción convencionales. Además, la respuesta de secado de pintura de las

aleaciones AL5 y AL6 es mejor que la convencional AA6111.

[0049] Para el material con el inter-recocido, el tamaño y la distribución de las plaquetas gruesas ricas en Fe en las secciones L de la AL5 (bobina B-1) y la AL6 (bobina B-4) son similares a las bobinas del temple T4P. La cantidad de Mg₂Si no disuelta en las bobinas T4P (inter-recocidas) resultó ser generalmente superior que en su temple T4P equivalente, especialmente a una temperatura de puesta en solución de 535°C.

[0050] La tabla 8 resume los resultados de mediciones de tamaño de grano. Generalmente, la disminución de la temperatura de la puesta en solución no tiene un efecto medible en la estructura granular. La media del tamaño de los granos y la distribución en la chapa AL5 son un tanto refinados en comparación con su equivalente T4P, aunque lo contrario es real para la bobina AL6, ver tablas 6 y 8. El tamaño global de los granos esparcidos en la aleación AL6 se vuelve bastante grande en comparación con el del temple T4P. Generalmente, el tamaño medio del grano en la bobina AL5 es aproximadamente 10 µm más pequeño que en la chapa AL6 en ambas en direcciones a través del espesor y horizontal.

Tabla 8

Resultados de mediciones de tamaño de grano de las chapas AL5 y AL6 en el temple T4P							
Aleación (Bobina#)	Orient.	Temp. de solución. (°C)	media (µm)	Valor medio (µm)	Desv. Estándar (µm)	Relación media de aspecto, H/V	% granos (>40 µm)
AL5 B-1	H	535	292	26.0	16.4	1.69	21.5
	V		17.2	15.6	8.5		1.9
	H	550	27.6	25.4	15.8	1.48	18.4
	V		18.6	16.9	8.1		1.0
AL6 B-4	H	535	39.9	36.5	19.8	1.53	42.3
	V		26.1	22.1	11.4		12.2
	H	550	42.4	38.2	21.8	1.61	47.7
	V		263	23.2	13.9		15.1

[0051] Las propiedades de tracción y plegado de las bobinas se recogen en la tabla 9. La figura 6 compara las propiedades de tracción de las aleaciones AL5 y AL6 en las direcciones L y T, y subraya las diferencias provocadas por la puesta en solución a dos temperaturas diferentes. Como en el temple T4P, la AL5 en el temple T4P con inter-recocido es marginalmente más fuerte que la aleación AL6 en ambas direcciones L y T y para ambas temperaturas de puesta en solución. Además, la resistencia de las dos aleaciones se mejora ligeramente poniéndolas en solución a 550°C en contraposición a 535°C, aunque no se hacen obvios efectos significativos en los valores de alargamiento. La resistencia en ambas aleaciones varía dentro de -12 MPa en ambas direcciones L y T, mientras no se observan mayores diferencias en los valores de alargamiento.

Tabla 9

Propiedades mecánicas de las chapas AL5 y AL6 producidas en el temple T4P con inter-recocido									
Aleación (bobina #)	temperatura de solución (°C)	Temple	Dir.	LE (MPa)	UTS (MPa)	Total % EL	n	R	Min (r/e)
AL5 (B-1)	535	T4P	L	101.1	212.7	23.9	0.29	0.70	0.11
			T	96.2	204.7	24.9	0.28	0.67	0.06
		T8P	L	236.6	296.1	15.5	0.14	0.74	-
			T	231.2	286.9	17.0	0.14	0.74	-
		T4P	L	108.6	225.6	24.6	0.29	0.71	0.16
			T	103.5	217.1	25.7	0.28	0.67	0.11

	550		L	255.9	313.8	17.1	0.13	0.74	-
		T8(2%)	T	244.8	301.6	17.7	0.14	0.69	-
AL6 (B-4)	535	T4P	L	100.1	203.1	23.0	0.27	0.84	0.17
			T	95.6	194.0	22.8	0.27	0.64	0.06
		T8(2%)	L	226.4	282.7	16.6	0.14	0.86	-
			T	216.6	271.4	15.9	0.14	0.67	-
	550	T4P	L	109.4	217.3	24.7	0.27	0.85	0.17
			T	104.4	207.6	22.5	0.27	0.63	0.06
	550	T8(2%)	L	253.7	306.7	17.1	0.13	0.85	-
T			244.5	295.3	15.6	0.13	0.68	-	
n = índice de endurecimiento por deformación R= resistencia al diluido									

[0052] La respuesta de secado de pintura de las dos bobinas se compara en la figura 7. Esta figura muestra que el cambio de la temperatura de puesta en solución de 535 a 550°C mejora la respuesta de secado de pintura en aproximadamente de 6 a 19 MPa, donde la mayoría de la mejora se observa en la aleación AL6. La respuesta de secado de la pintura de la aleación AL5 puesta en solución a 550°C es de alrededor de 148 MPa, que es aproximadamente 8 MPa mejor que su equivalente AL6.

[0053] El LE de las aleaciones AL5 y AL6 producidas con y sin inter-recocido de lote se compara en la figura 8. El uso de recocido de lote reduce el LE en ambos temple T4P y T8(2%). Es necesario que las aleaciones se pongan en solución a 550°C para maximizar la respuesta de secado de pintura de las aleaciones. No obstante, debe observarse que la respuesta de secado de pintura de las aleaciones AL5 y AL6 puestas en solución a 535°C sigue siendo comparable a la convencional AA6111.

[0054] Los valores n y R de las dos aleaciones se muestran en la figura 9. Como en el temple T4P, los valores n (índice de endurecimiento por deformación) son similares en ambas aleaciones, isotrópicos y no cambian con la temperatura de puesta en solución. El valor R (resistencia a la dilución) de la aleación AL5 es inferior que en la aleación AL6 en la dirección L, pero la tendencia se invierte en la dirección T. La tendencia en los valores R es similar a la vista en el temple T4P.

[0055] La figura 10 muestra que los valores r/e de las dos aleaciones son inferiores a 0.2 en las direcciones L y T. Mientras los valores r/e de la aleación AL5 con 0.3% de Cu puesta en solución a 535°C son mejores que su equivalente libre de Cu, esta ventaja se pierde al poner en solución a 550°C.

Ejemplo 4

[0056] Unos lingotes de 600 x 2032 mm (grueso x ancho) y de aproximadamente 4000 mm de largo, de cada una de las composiciones AL7 y AL8 presentadas en la tabla 10 fueron fundidos por el método (DC) a escala comercial. La fusión de aluminio líquida fue aleada entre 720 y 750°C en un horno basculante, se removió, se fundió con una mezcla de aproximadamente 25/75 de gases Cl₂/N₂ durante aproximadamente 35 minutos y se desgasificó en línea con una mezcla de Ar y Cl₂ inyectada a una velocidad de 200 l/min y 0.5 l/min, respectivamente. La aleación fundida recibió luego un 5% de refinador granular Ti-1%B y se vertió en un molde lubricado a entre 700 y 715°C usando un sistema de alimentación de entrada doble. El sistema de doble entrada se utilizó para reducir las turbulencias en la boca de descarga. La fundición se efectuó a una velocidad lenta de aproximadamente 25 mm/min al principio y se terminó a aproximadamente 50 mm/min. El lingote como fundido fue enfriado controladamente con agua pulsada a una velocidad de entre 25 y 80 L/s para evitar el agrietado. Los lingotes fueron lijados, homogenizados a 560°C y laminados en caliente. Los lingotes se laminaron en caliente hasta 3.5 mm, se laminaron en frío hasta 2.1 mm de espesor en una pasada, se recocieron en lote a 380°C durante 2 h, se laminaron en frío hasta el espesor final de 0.93 mm y luego se pusieron en solución para obtener la chapa en temple T4P (con inter-recocido).

[0057] Las aleaciones AL7 y aleaciones AL8 también se fundieron como lingotes DC de tamaño 95 x 228 mm (grueso x ancho) para propósitos de comparación. El aluminio líquido fue desgasificado con una mezcla de aproximadamente 10/90 de gases Cl₂/Ar durante aproximadamente 10 minutos y luego se añadió en el horno un 5% de refinador granular Ti-1% B. La aleación líquida fundida se vertió en un molde lubricado a entre 700 y 715°C para fundir el lingote a una velocidad de entre 150 y 200 mm/min. El lingote saliente del molde se enfrió con un chorro de agua. Los lingotes pequeños se procesaron de forma similar a los lingotes de tamaño comercial, salvo por el hecho de que el proceso se efectuó en el laboratorio utilizando condiciones de proceso en planta simuladas.

[0058] las figuras 11a-11d comparan las estructuras granulares en las chapas de aleación AL7 y AL8 obtenidas de lingotes tanto de tamaño pequeño como grande. Se puede observar que el tamaño del grano es bastante grueso en

el material de chapa obtenido de lingotes de tamaño pequeño, específicamente en las áreas de espesor 1 / 2. La tabla 11 recoge los resultados de las mediciones de tamaño de grano de aproximadamente 150 a 200 granos en las direcciones horizontal (H) y a través de espesor (V) en las áreas de espesor 1/4. La tabla 11 muestra que la media del tamaño de los granos y la distribución en la chapa AL7 son un tanto comparables en las chapas AL7 independientemente del tamaño del lingote primario. No obstante, debe observarse al comparar la figura 11a con la 11c que el tamaño del grano a través de espesor varía bastante considerablemente en la aleación AL7. Generalmente, el tamaño medio del grano y la extensión de tamaño del grano en la aleación AL8 es bastante grande en comparación con la de la aleación AL7. El tamaño medio del grano en la chapa AL7 fabricada a partir del lingote grande es aproximadamente 15 μm y 8 μm más pequeño que en la chapa AL8 en ambas direcciones horizontal y a través del espesor, respectivamente. La diferencia en la dirección horizontal es mucho más alta en el caso de chapas fabricadas a partir del lingote de tamaño pequeño. La diferencia entre el tamaño del grano en las chapas AL8 obtenidas a partir de lingotes de tamaño pequeño y grande es bastante destacable, y parece estar relacionada con las condiciones de fundición, ver tabla 11.

Tabla 10

Composiciones nominales de los lingotes fundidos AL7 y AL8					
Aleación	Composición en % en peso				
	Cu	Mg	Si	Fe	Mn
Chapas producidas a partir de lingotes de 600 mm de espesor y 2032 mm de anchura					
AL7	0.30	0.59	0.81	0.25	0.21
AL8	0.03	0.59	0.80	0.25	0.22
Chapas producidas a partir de lingotes de 94 mm de espesor y 228 mm de anchura					
AL7	0.31	0.60	0.79	0.20	0.20
AL8	-	0.60	0.79	0.16	0.20

Tabla 11

Resultados de mediciones de tamaño del grano de las chapas AL7 y AL8 en el temple T4P (con inter-recocido)						
Aleación	Orientación	Media (μM)	Valor medio (μM)	Desv. Estándar (μM)	Relación media de aspecto, H/V	% granos (>40μm)
Chapas producidas a partir de lingotes de tamaño grande vía procesamiento a escala comercial						
AL7	H	27.6	25.4	15.8	1.48	18.4
	V	18.6	16.9	8.1		1.0
AL8	H	42.4	38.2	21.8	1.61	47.7
	V	26.3	23.2	13.9		15.1
Chapas producidas a partir de lingotes de tamaño pequeño vía procesamiento a escala comercial simulada						
AL7	H	31.0	26.3	20.5	1.59	24.5
	V	19.5	17.1	9.9		9.9
AL8	H	64.4	54.8	37.1	2.27	67.0
	V	28.3	24.6	16.4		16.7

[0059] Las figs. 12 y 13 muestran tamaños y distribución de partículas en bobinas de aleaciones AL7 y AL8 procesadas a escala comercial a partir de lingotes de gran tamaño. A partir de estos gráficos puede observarse que aproximadamente un 85 - 95% de las partículas tienen áreas de partícula en el intervalo de 0.5 - 5 micras cuadradas y aproximadamente un 80 - 100% de las partículas tienen áreas de partícula en el intervalo de 0.5 - 15 micras cuadradas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de una chapa de aleación de aluminio con una excelente plegabilidad para uso en el modelado de paneles para automóviles, comprendiendo el procedimiento los pasos de:
5 fundir de forma semicontinua una aleación de aluminio de la serie AA 6000 que comprende de 0.50 a 0.75 en peso de Mg, de 0.7 a 0.85% en peso de Si, de 0.1 a 0.3% en peso de Fe, de 0.15 a 0.35% en peso de Mn, opcionalmente de 0.2 a 0.4% de Cu, y el resto de Al e impurezas incidentales,
10 someter el lingote de aleación fundido a homogenización, laminación en caliente y laminación en frío, seguido de tratamiento térmico en solución de la chapa formada,
enfriar rápidamente la chapa tratada térmicamente a una temperatura de 60-120°C y bobinar la chapa a una temperatura de bobinado de 60-120°C, y
preenvejecer la bobina mediante enfriamiento lento de la bobina de una temperatura de bobina inicial de 60-120°C a temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento inferior a 10°C/hr.
15
2. Procedimiento según la reivindicación 1 donde la aleación contiene de 0.2 a 0.4% de Cu.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2 donde la bobina se enfría a una velocidad de menos de 5°C/hr.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 3 donde la bobina se enfría a una velocidad de menos de 3°C/hr.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-4 donde la chapa tratada térmicamente se enfría rápidamente a una temperatura de 70-100°C.
- 25 6. Procedimiento según la reivindicación 5 donde la chapa tratada térmicamente se enfría rápidamente a una temperatura de 80-90°C.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-6 donde la chapa laminada en caliente es laminada en frío a un calibre intermedio, recocida en lotes, y entonces laminada al calibre final.
- 30 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-7 donde después del preenvejecimiento, la bobina es envejecida naturalmente a temple T4P.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-8 donde la chapa obtenida tiene un LE inferior a 125 MPa en el temple T4P y superior a 250 MPa en el temple T8(2%).
35
10. Procedimiento según la reivindicación 7 donde la chapa obtenida tiene un LE inferior a 120 MPa en el temple T4P y superior a 245 MPa en el temple T8 (2%).
- 40 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 donde la chapa obtenida tiene un valor de plegabilidad (r/e) inferior a 0.2.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-11 donde el lingote fundido tiene un espesor de al menos 450 mm y una anchura de como mínimo 1250 mm.

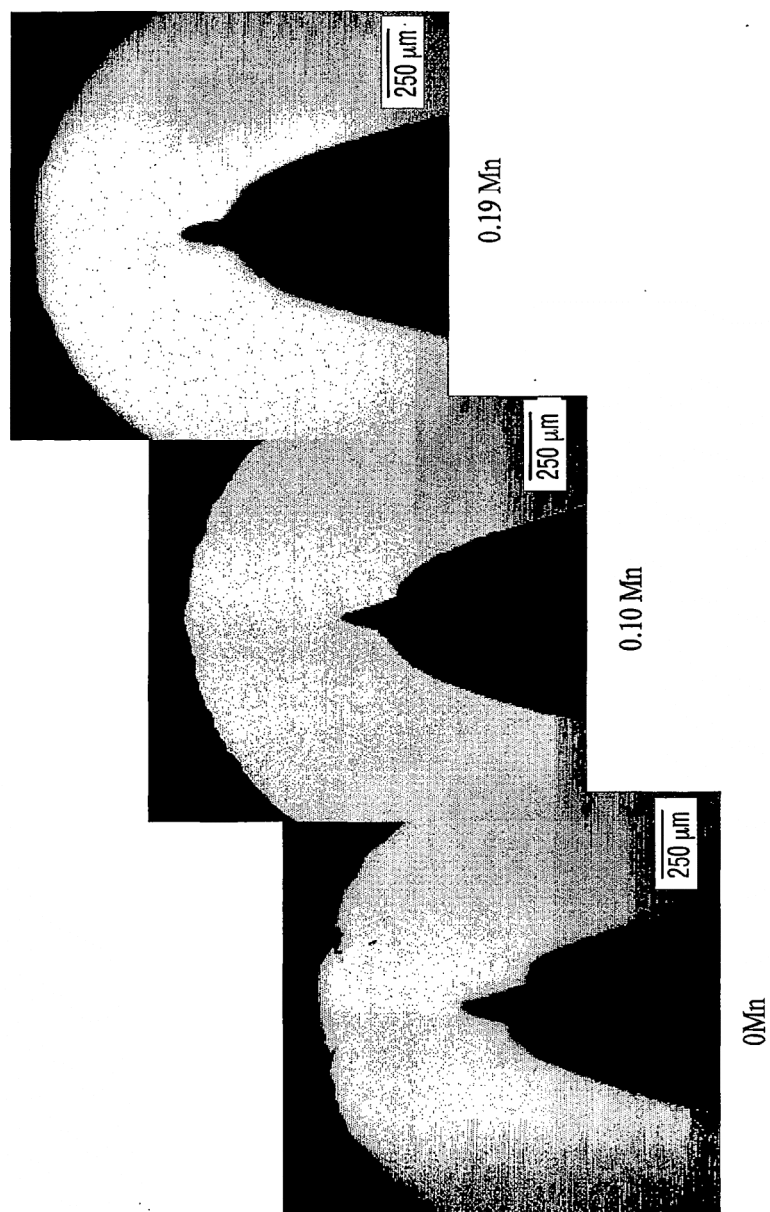
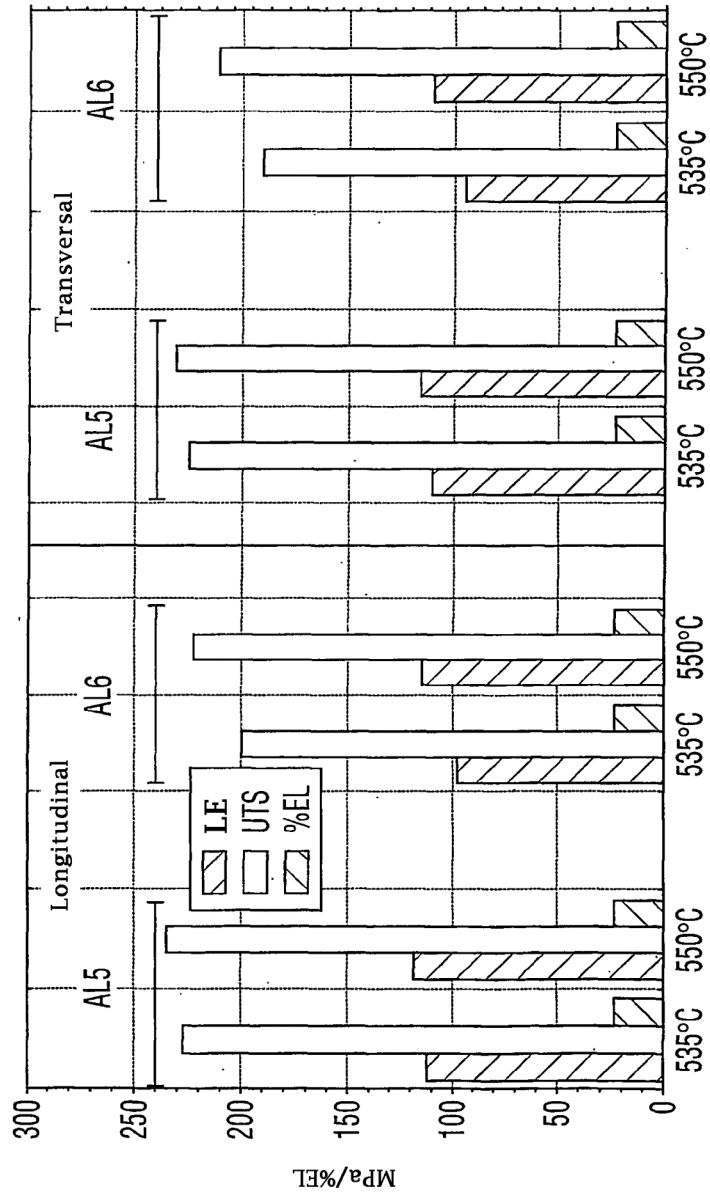


FIG. 1



Temperatura de puesta en solución, °C

FIG. 2

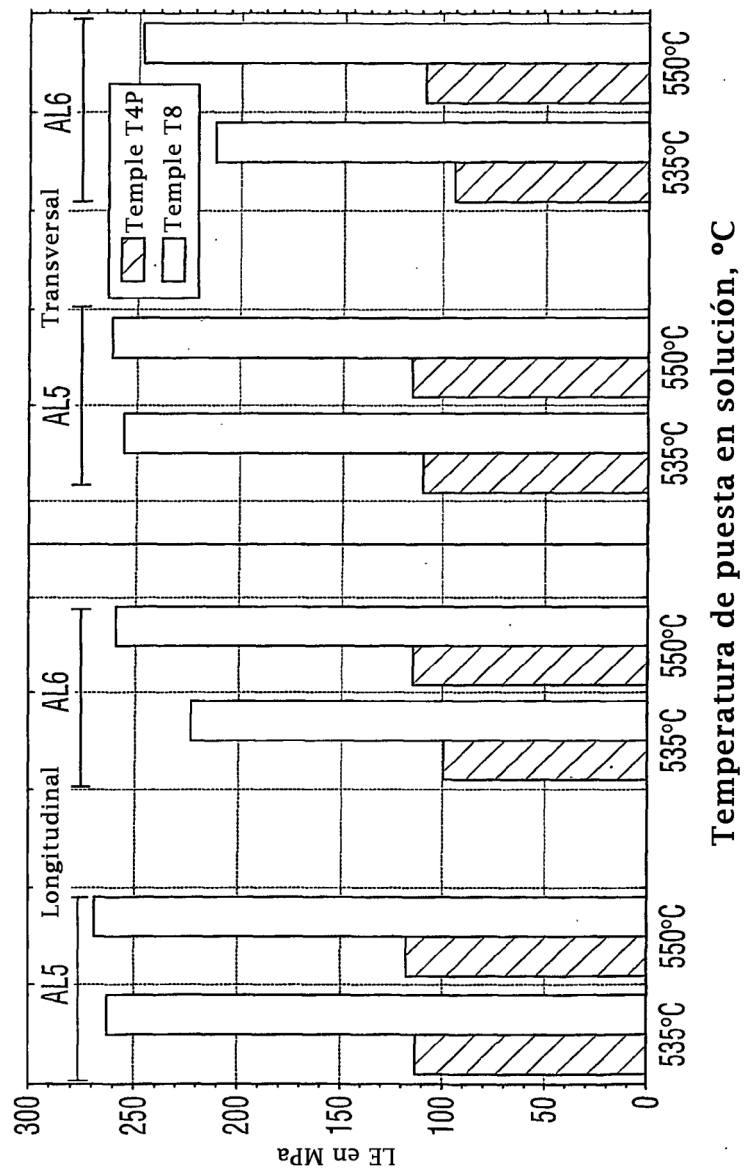
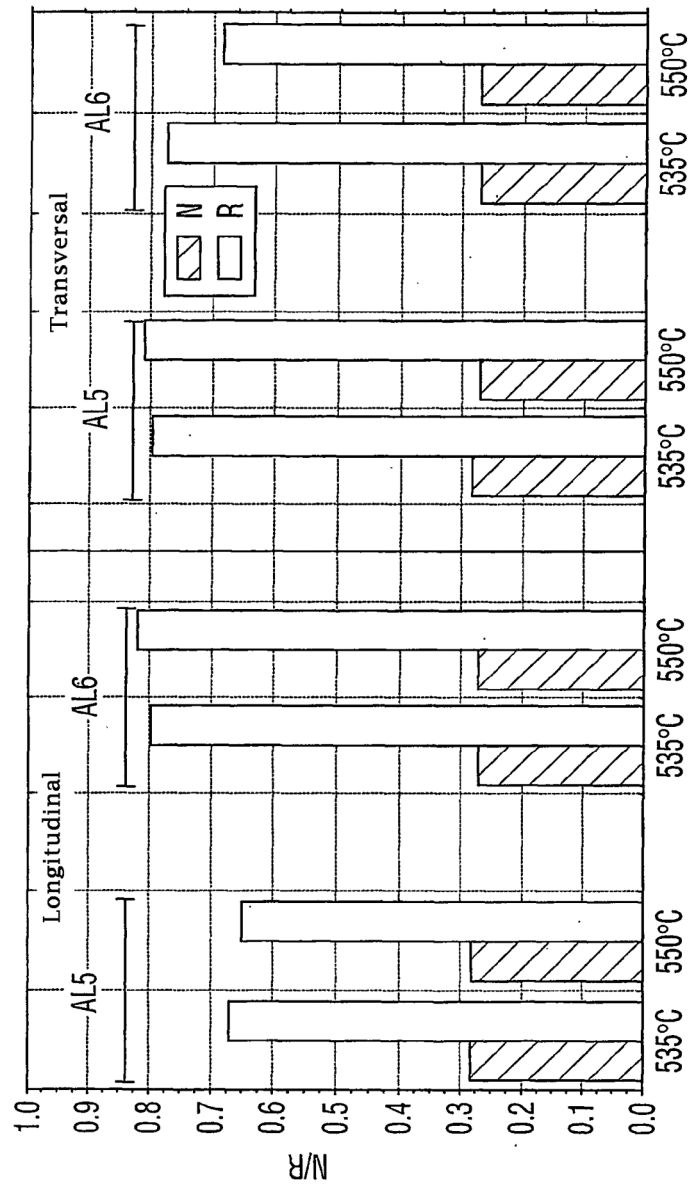


FIG. 3



Temperatura de puesta en solución, °C

FIG. 4

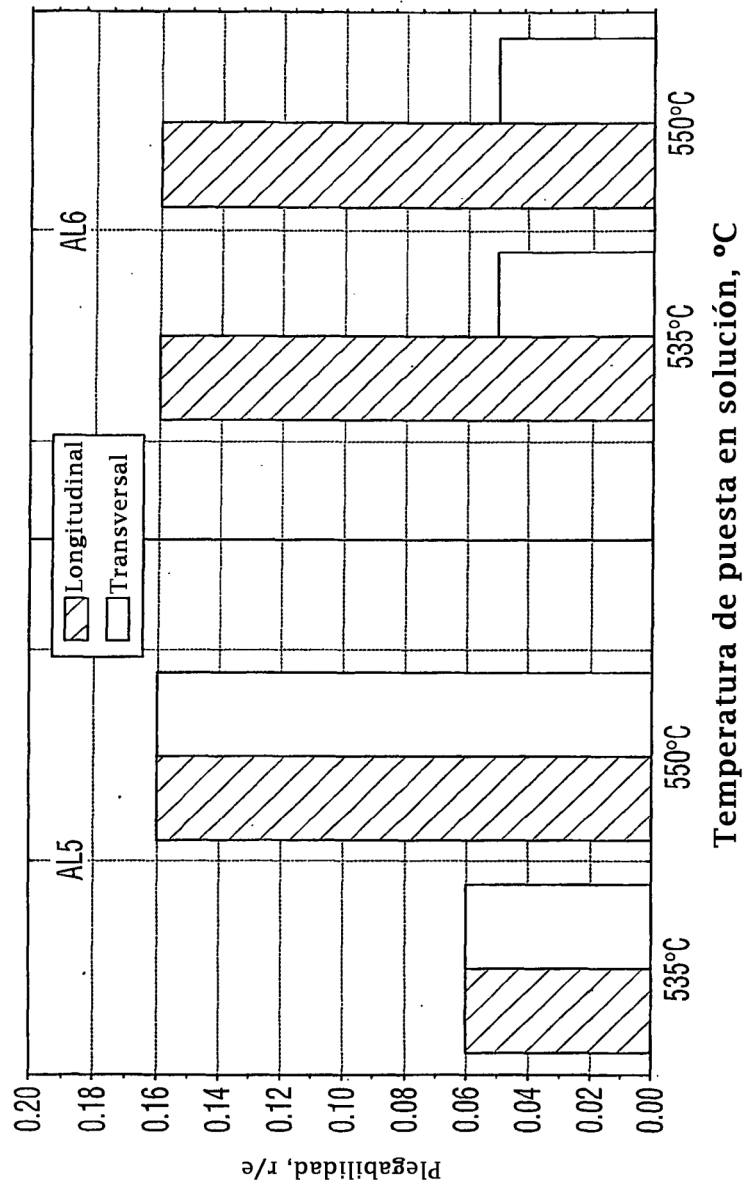


FIG. 5

Temperatura de puesta en solución, °C

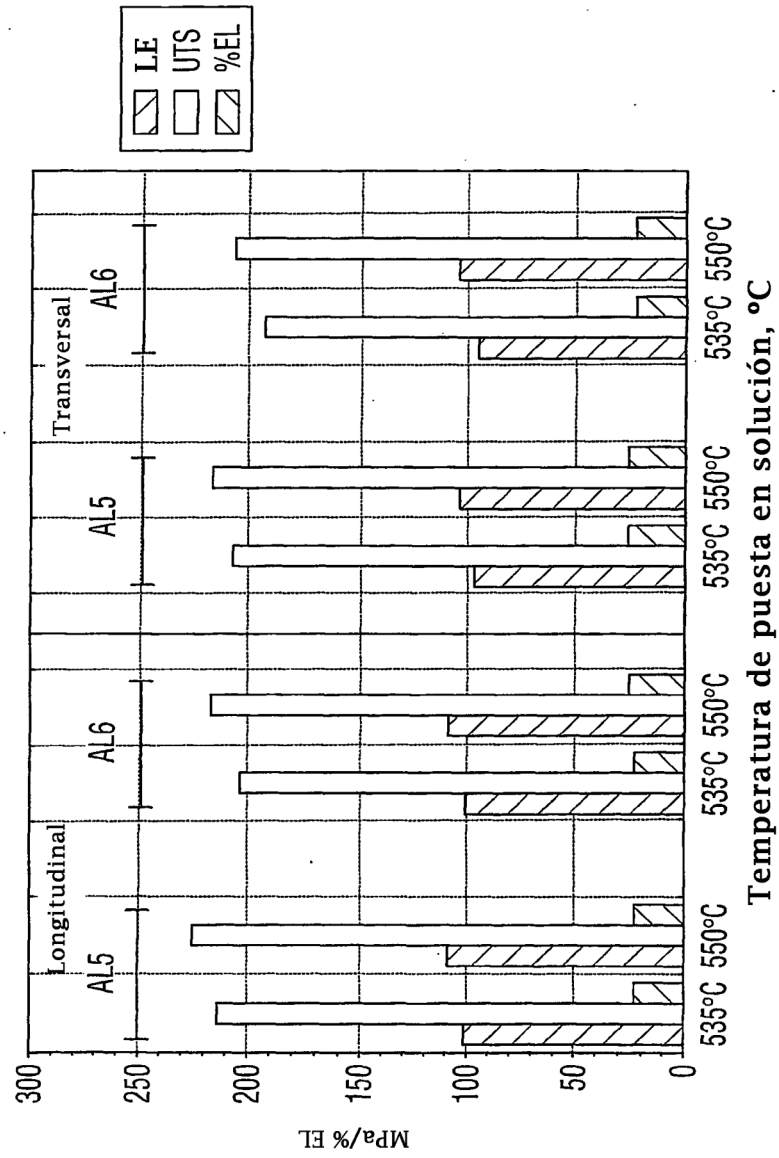


FIG. 6

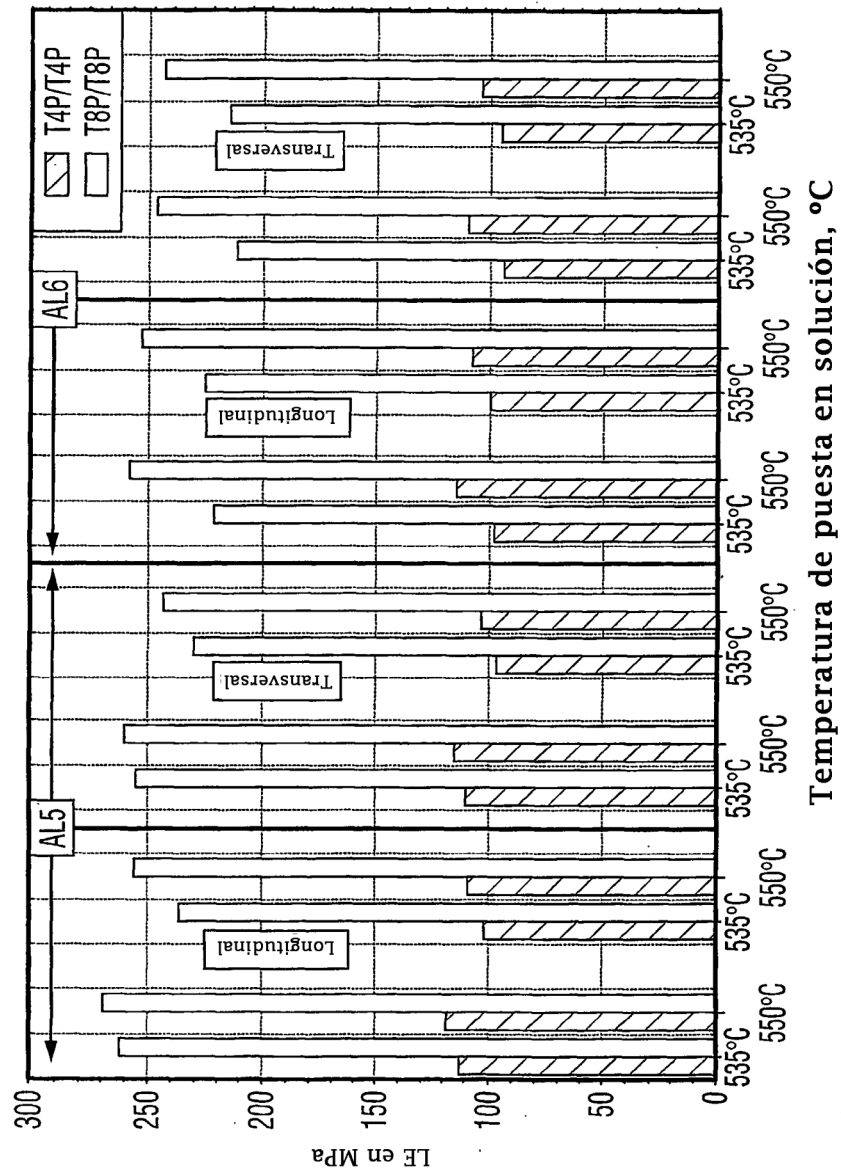
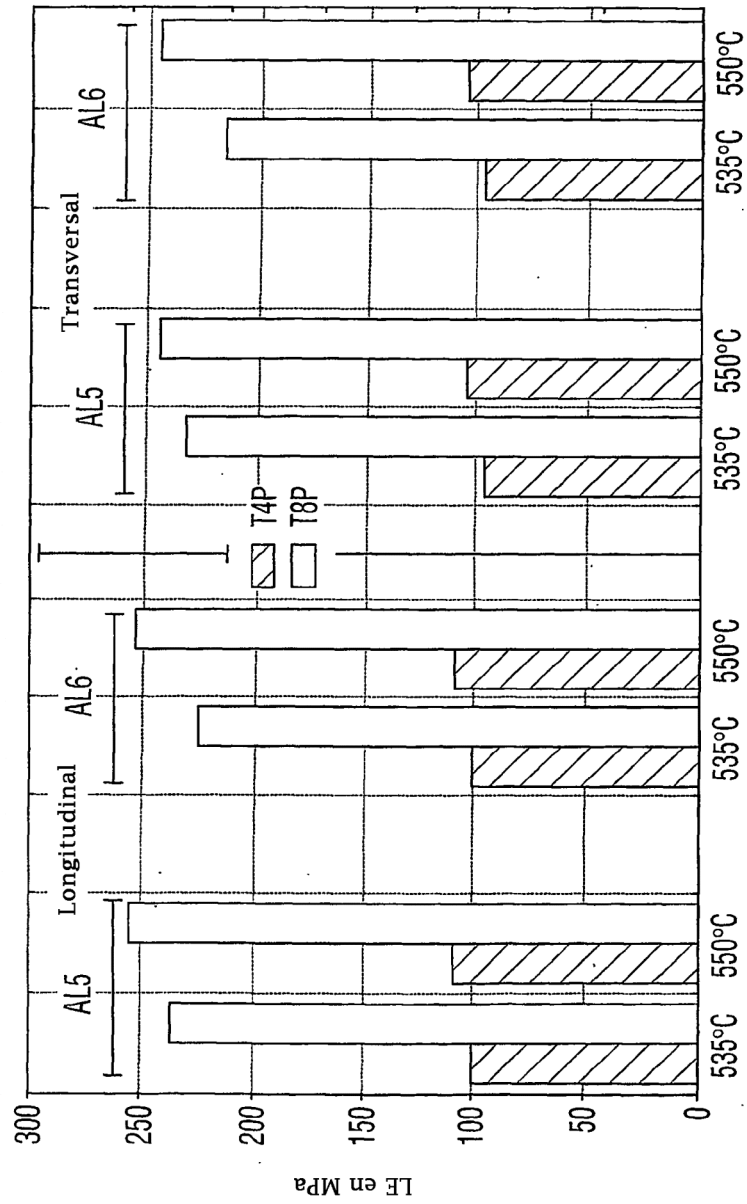


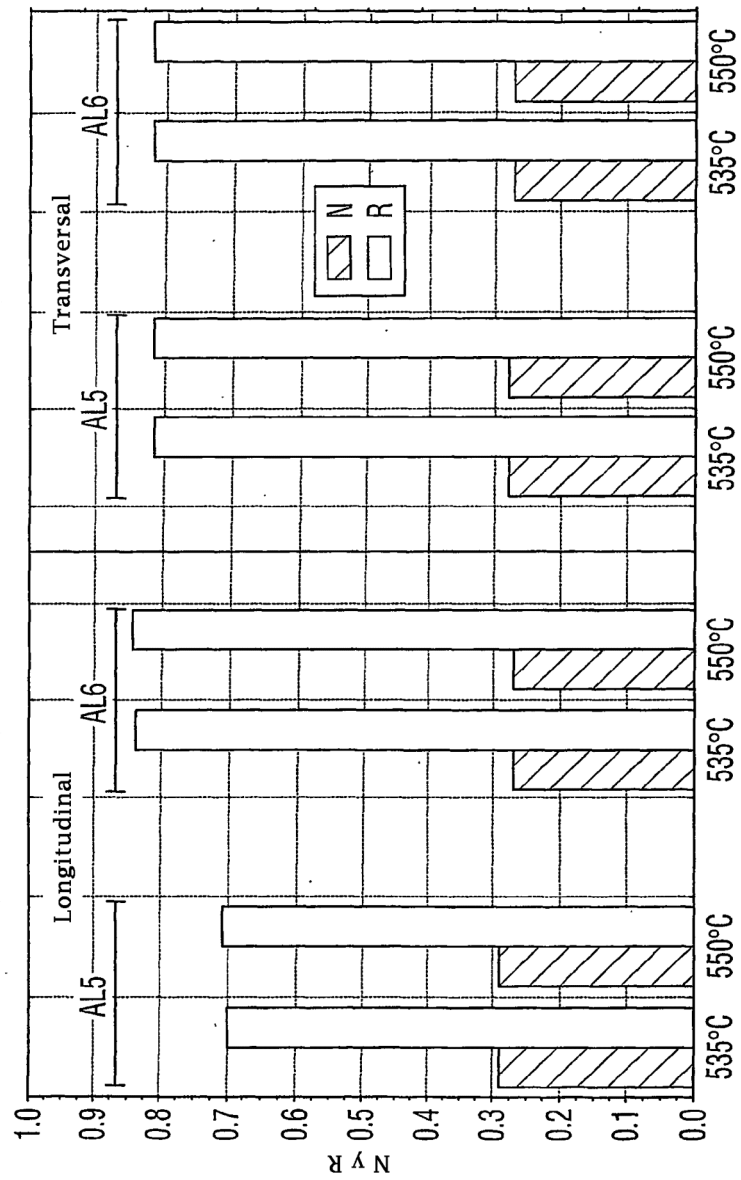
FIG. 7

Temperatura de puesta en solución, °C



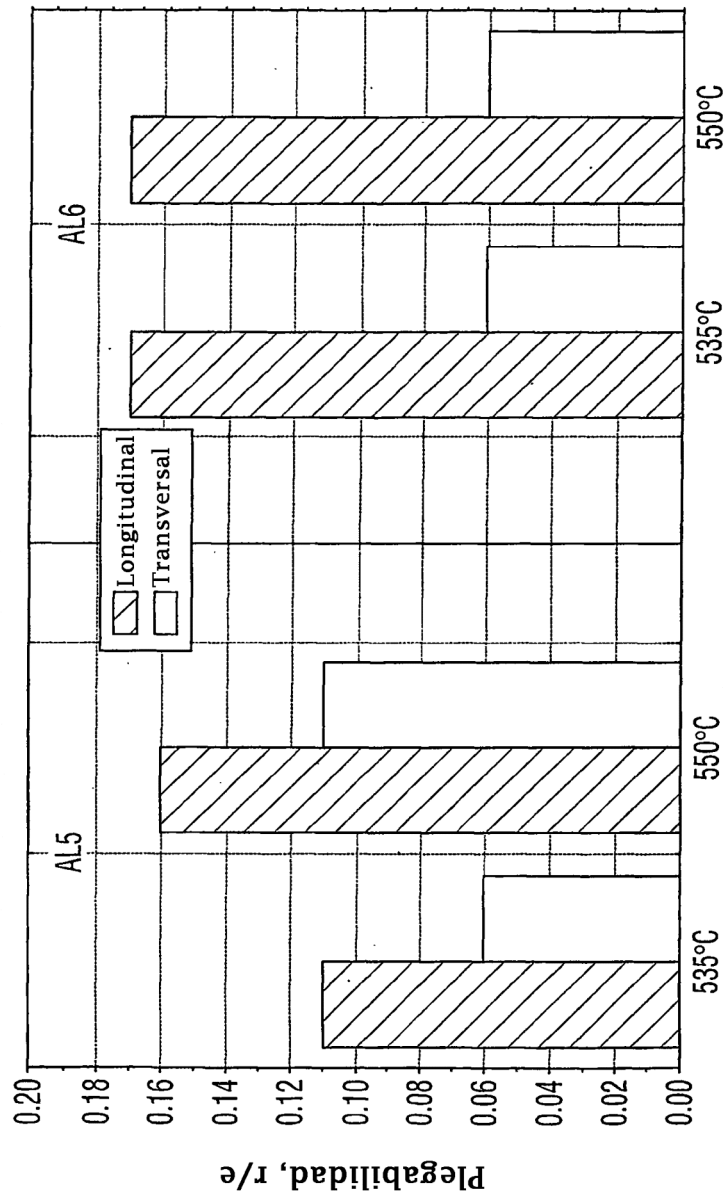
Temperatura de puesta en solución, °C

FIG. 8



Temperatura de puesta en solución, °C

FIG. 9



Temperatura de puesta en solución, °C

FIG. 10

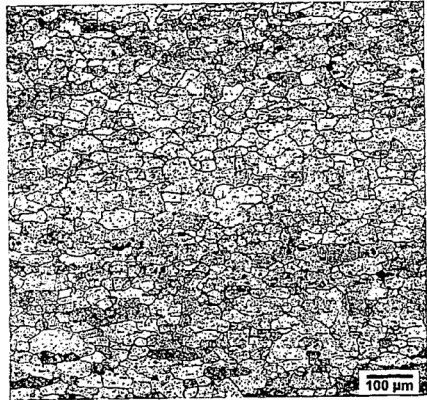


FIG. 11a

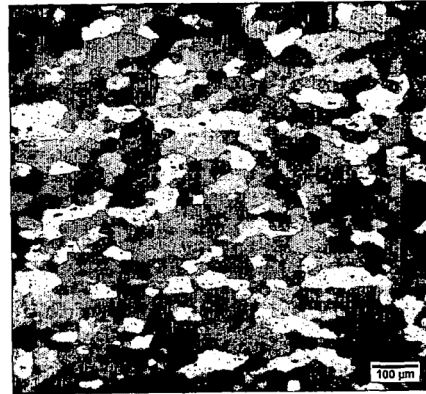


FIG. 11b

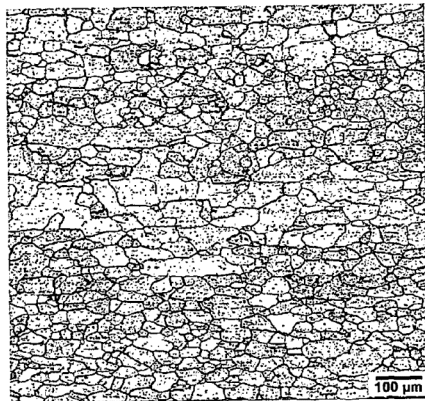


FIG. 11c

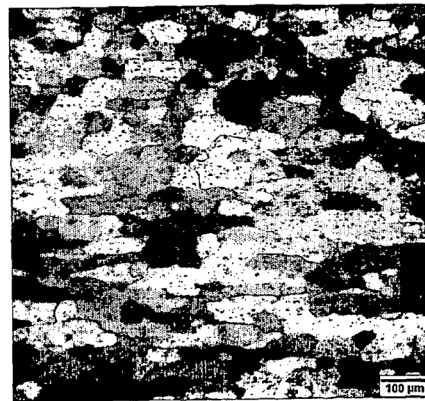


FIG. 11d

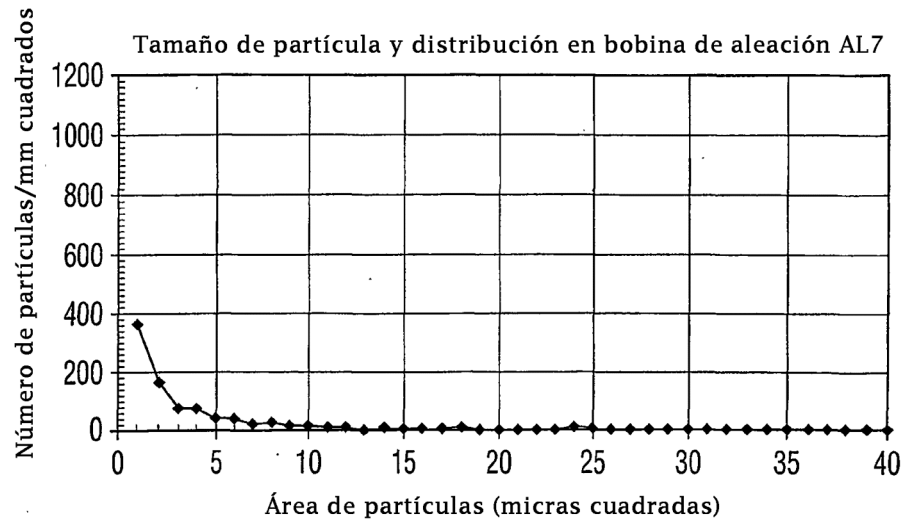


FIG. 12

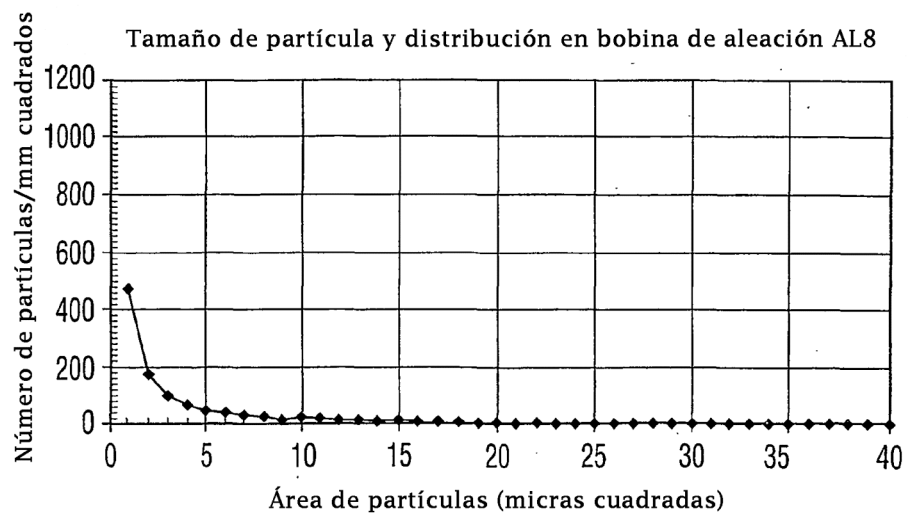


FIG. 13