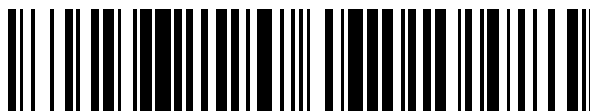


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 649**

51 Int. Cl.:

**C22C 21/10** (2006.01)

**C22F 1/053** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.04.2016** **PCT/RU2016/000262**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.04.2017** **WO17058052**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2016** **E 16852160 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020** **EP 3358025**

54 Título: **Aleación de alta resistencia en base a aluminio y método para producir artículos a partir de la misma**

30 Prioridad:

**29.09.2015 RU 2015141320**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**22.10.2020**

73 Titular/es:

**OBSHESTVO S OGRANICHENNOY  
OTVETSTVENNOST'YU "OBEDINENNAYA  
KOMPANIYA RUSAL INZHENERNO-  
TEKHNOLOGICHESKIY TSENTR" (100.0%)  
Ul. Pogranichnikov 37 str. 1  
G. Krasnoyarsk 660111, RU**

72 Inventor/es:

**MANN, VIKTOR KHRIST'YANOVICH;  
ALABIN, ALEKSANDR NIKOLAEVICH;  
FROLOV, ANTON VALER'EVICH;  
GUSEV, ALEKSANDR OLEGOVICH;  
KROKHIN, ALEKSANDR YUR'EVICH y  
BELOV, NIKOLAJ ALEKSANDROVICH**

74 Agente/Representante:

**SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio**

ES 2 788 649 T3

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).

## DESCRIPCIÓN

Aleación de alta resistencia en base a aluminio y método para producir artículos a partir de la misma

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la metalurgia de aleaciones fundidas y forjadas de alta resistencia en base a aluminio, y puede usarse para producir artículos usados en diseños de misión crítica operables bajo carga. La invención reivindicada puede usarse en el campo del transporte, que incluye en la producción de componentes de automoción, que incluye llantas de fundición, piezas para el transporte ferroviario, piezas de aeronaves, tales como aviones, helicópteros y componentes para misiles, en la industria deportiva y equipos deportivos, por ejemplo para la fabricación de bicicletas, scooters, equipos de ejercicio, para la fabricación de carcasas de dispositivos electrónicos, así como también en otras ramas de la ingeniería y la gestión industrial.

## 15 Técnica anterior

Las siluminas (en base al sistema Al-Si) son las aleaciones de fundición más populares. Como elementos dopantes principales para mejorar la resistencia de las aleaciones de este sistema, se usan cobre y magnesio (típicos para aleaciones de las series A354 y A356). Estas aleaciones generalmente exhiben un nivel de resistencia por debajo de aproximadamente 300 y 380 MPa (para aleaciones de las series A356 y A354, respectivamente) que es el máximo absoluto para estos materiales cuando se usan en métodos convencionales para obtener fundiciones conformadas.

Las aleaciones comerciales de fundición de aluminio de la serie AM5 ( $\sigma=400-450$  MPa) pertenecen al sistema Al-Cu-Mn (Alieva S. G., Altman M. B., Ambartsumyan S. M. y otros, Promyshlennyye aluminievye splavy (Industrial aluminum alloys) /Libro de referencia/ Moscú, Metallurgiya, 1984. 528 p.). Los inconvenientes principales de tales aleaciones incluyen un rendimiento de fundición relativamente bajo debido a las pobres características de fundición que provocan muchos problemas para la producción de fundiciones conformadas y para la fundición de moldes permanentes en primer lugar.

Entre las aleaciones forjadas de alta resistencia, merece la atención particular las aleaciones del sistema Al-Zn-Mg-Cu que tiene altas propiedades mecánicas, en particular,  $\sigma=600$  MPa puede lograrse para los artículos semielaborados forjados bajo la condición de tratamiento térmico Núm. T6 (Aluminum. Properties and Physical Metallurgy, Ed. J. Hatch, 1984). El método principal para la producción de artículos semielaborados forjados, por ejemplo, artículos prensados de aleaciones 7xxx, comprende implementar las siguientes etapas: preparar una fundición, fundición de lingotes, homogeneización de lingotes, tratamiento térmico de procesamiento y fortalecimiento de deformación (por ejemplo, bajo la condición de tratamiento térmico Núm. T6, donde las condiciones necesitan seleccionarse en base a la composición de aleación y los requisitos para las propiedades mecánicas deseadas). Los inconvenientes principales de aleaciones forjadas de alta resistencia y un método para producir artículos semielaborados forjados de las mismas incluyen pobres características de fundición de lingotes planos y cilíndricos debido a la tendencia amentada para desarrollar fracturas de fundición, pobres características de soldadura por arco de argón y altas demandas de pureza de aluminio primario en términos de contenido de hierro y silicio en primer lugar, ya que son impurezas perjudiciales en tales aleaciones.

Se conoce una aleación de alta resistencia del sistema Al-Zn-Mg-Cu-Sc para fundiciones usadas para el espacio aéreo y la industria de automoción descrita en la patente Alcoa Int. el documento EP 1885898 B1 (publicada el 13.02.2008, Boletín 2008/07). La aleación que comprende 4-9 % de Zn; 1-4 % de Mg; 1-2,5 % de Cu; <0,1 % de Si; <0,12 % de Fe; <0,5 % de Mn; 0,01-0,05 % de B; <0,15 % de Ti; 0,05-0,2 % de Zr; 0,1-0,5 % de Sc pueden usarse para la producción de fundiciones con propiedades de resistencia (para el 100% mayor que en la aleación A356) mediante el uso de los siguientes métodos de fundición: la fundición a baja presión, la fundición a presión por gravedad, la fundición por piezocristalización y otros. Entre los inconvenientes de la presente invención, debe prestarse atención particular a la falta de elementos formadores eutécticos en una composición química (cuando una estructura de aleación es sustancialmente una solución de aluminio), por lo tanto, que inhibe las fundiciones conformadas relativamente complejas para producirse. En adición, la composición química de la aleación comprende una cantidad limitada de hierro que requiere grados de aluminio primario relativamente puro para usarse, así como también la presencia de una combinación de pequeños aditivos de metales de transición que incluyen el escandio que a veces no es razonable (por ejemplo, para la fundición en arena debido a la baja velocidad de enfriamiento).

Otra aleación de alta resistencia conocida del sistema Al-Zn-Mg-Cu y un método para la producción de artículos semielaborados prensados, estampados y enrollados se describe en la publicación US 20050058568 A1, Pechiney (publicada el 17.03.2005). La aleación de aluminio sugerida tiene la siguiente composición química: 6,7-7,5 % de Zn, 2,0-2,8 % de Cu, 1,6-2,2 % de Mg y adicionalmente, al menos un elemento de un grupo de 0,08-0,2 % de Zr, 0,05-0,25 % de Cr, 0,01-0,5 % de Sc, 0,05-0,2 de Hf y 0,02-0,2 V, y Si+Fe < 0,2 %. Los artículos semielaborados forjados fabricados mediante el uso de este material proporcionan una combinación de altas propiedades mecánicas y resistencia a la fractura. Esta aleación tiene desventajas que incluyen, sobre todo, una alta tendencia al agrietamiento a alta temperatura en lingotes de fundición provocada por el intervalo de cristalización extendido que hace imposible usar soldadura por arco de argón y un bajo límite de restricción para el contenido de hierro y silicio.

Entre las aleaciones de alta resistencia, vale la pena mencionar un material en base a aluminio que comprende 5-8 % de

Zn-1,5-3 % de Mg-0,5-2 % de Cu-Ni que se describe en la publicación US 20070039668 A1 (publicada el 22.02.2007). La característica clave de este material que lo distingue de aleaciones típicas de la serie 7xxx es la estructura de aleación peculiar en una fase de níquel generada en una estructura de aluminuro en la cantidad de 3,5-11 % en volumen. El material puede usarse para producir artículos semielaborados forjados (al prensar, enrollar) y para producir fundiciones conformadas. Los inconvenientes del material incluyen: 1) la necesidad de usar aluminio de superpureza, 2) la presencia de un aditivo de cobre que reduce la barra de aleación, por lo tanto, que limita la capacidad para obtener tamaños específicos de fases intermetálicas de níquel en la etapa de tratamiento térmico.

La más cercana a la invención sugerida es una aleación en base a aluminio de alta resistencia descrita en la patente de la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología MISiS RU 2484168C1 (publicada el 10.06.2013, número 16). Esta aleación comprende el siguiente rango de concentraciones de componentes dopantes (% en peso): 5,5-6,5 % de Zn, 1,7-2,3 % de Mg, 0,4-0,7 % de Ni, 0,3-0,7 % de Fe, 0,02-0,25 % de Zr, 0,05-0,3 % de Cu y Al-base. Esta aleación puede usarse para producir fundiciones conformadas caracterizadas por la resistencia máxima de no menos de 450 MPa, y para producir artículos semielaborados forjados en la forma de un material laminado enrollado caracterizado por la resistencia máxima de no menos de 500 MPa. Los inconvenientes de esta invención están en que la solución de aluminio no se deja modificar que en algunos casos es necesario para reducir el riesgo de agrietamiento en caliente de la fundición (de fundiciones y lingotes), en adición, la cantidad máxima del hierro en la aleación no es más del 0,7 % que permite usar una materia prima de alcance de hierro. Las fundiciones, lingotes y artículos semielaborados forjados hechos de esta aleación no pueden calentarse continuamente por encima de 450 °C debido al posible engrosamiento de separaciones secundarias de la fase de circonio de  $Al_3Zr$ .

#### Descripción de la invención

La presente invención proporciona una nueva aleación de aluminio de alta resistencia que contiene hasta el 1 % de Fe caracterizada por las altas propiedades mecánicas y el alto rendimiento para obtener fundiciones y lingotes conformados (en particular, altas propiedades de fundición).

El efecto técnico obtenido por la presente invención está en mejorar las propiedades de resistencia de los artículos hechos de la aleación que resulta de separaciones secundarias de una fase de fortalecimiento a través del endurecimiento por dispersión con la provisión de alto rendimiento para la producción de lingotes y la fundición.

De acuerdo con un aspecto de la invención, dicho efecto técnico puede obtenerse por la aleación en base a aluminio de alta resistencia que comprende zinc, magnesio, níquel, hierro, cobre, y circonio, y adicionalmente, que comprende al menos un metal seleccionado del grupo que incluye titanio, escandio, y cromo con las siguientes relaciones, % en peso:

|          |            |
|----------|------------|
| Zinc     | 3,8-7,4    |
| Magnesio | 1,2-2,6    |
| Níquel   | 0,5-2,5    |
| Hierro   | 0,3-1,0    |
| Cobre    | 0,001-0,25 |
| Circonio | 0,05-0,2   |
| Titanio  | 0,01-0,05  |
| Escandio | 0,05-0,10  |
| Cromo    | 0,04-0,15  |
| Aluminio | el resto,  |

en donde el hierro y el níquel crean aluminuros de la fase eutéctica de  $Al_3FeNi$  cuya fracción de volumen no es menos del 2 % en volumen, dichos aluminuros eutécticos que tienen el tamaño de partícula de no más de 2  $\mu m$ .

De acuerdo con algunas modalidades preferidas de la presente invención, deben cumplirse los siguientes requisitos, ya sea de manera separada, o en combinación:

- la cantidad total de circonio y titanio no es más del 0,25 % en peso,
- la cantidad total de circonio, titanio, y escandio no es más del 0,25 % en peso,
- la cantidad total de circonio y escandio no es más de 0,25 en peso,
- la cantidad total de circonio, titanio, y cromo no es más del 0,20 % en peso,
- existe la relación  $Ni/Fe \geq 1$ ,
- una aleación de alta resistencia puede comprender aluminio producido electrolíticamente mediante el uso de un ánodo inerte,
- el circonio y el titanio están sustancialmente en la forma de separaciones secundarias que tienen el tamaño de partícula de no más de 20 nm y la red cristalina  $L1_2$ ,
- se cumple la condición  $Zn/Mg > 2,7$ .

De acuerdo con una modalidad preferida de la presente invención, el efecto técnico puede obtenerse por la aleación en base a aluminio de alta resistencia que comprende zinc, magnesio, níquel, hierro, cobre, y circonio, y adicionalmente, que comprende al menos un metal seleccionado del grupo que incluye titanio y cromo con las siguientes relaciones, % en peso:

|          |           |
|----------|-----------|
| Zinc     | 5,7-7,2   |
| Magnesio | 1,9-2,4   |
| Níquel   | 0,6-1,5   |
| Hierro   | 0,3-0,8   |
| Cobre    | 0,15-0,25 |
| Circonio | 0,11-0,14 |
| Titanio  | 0,01-0,05 |
| Cromo    | 0,04-0,15 |
| Aluminio | el resto, |

en donde el hierro y el níquel crean preferentemente aluminuros de la fase eutéctica de  $Al_9FeNi$  cuya fracción de volumen no es menos del 2 % en volumen, y la cantidad total de circonio y titanio no es más del 0,25 % en peso.

De acuerdo con otra modalidad preferida de la presente invención, el efecto técnico puede obtenerse por la aleación en base a aluminio de alta resistencia que comprende zinc, magnesio, níquel, hierro, cobre, y circonio, y adicionalmente, que comprende al menos un metal seleccionado del grupo que incluye titanio y escandio con las siguientes relaciones, % en peso:

|          |           |
|----------|-----------|
| Zinc     | 5,5-6,2   |
| Magnesio | 1,8-2,4   |
| Hierro   | 0,3-0,6   |
| Cobre    | 0,01-0,25 |
| Níquel   | 0,6-1,5   |
| Circonio | 0,11-0,15 |
| Titanio  | 0,02-0,05 |
| Escandio | 0,05-0,10 |
| Aluminio | el resto, |

en donde el hierro y el níquel crean preferentemente aluminuros de la fase eutéctica de  $Al_9FeNi$  cuya fracción de volumen no es menos del 2 % en volumen.

De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, la cantidad total de circonio, titanio, y escandio no es más del 0,25 % en peso.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, dicha aleación puede estar en la forma de fundiciones u otro producto o artículo semielaborado. De acuerdo con una modalidad preferida, un artículo hecho de la aleación puede ser un artículo forjado. Este artículo forjado puede producirse en la forma de productos enrollados (láminas o placas), perfiles perforados y prensados. De acuerdo con una modalidad preferida, puede hacerse un artículo en la forma de fundiciones.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención proporciona un método para la producción de artículos forjados hechos de una aleación de alta resistencia, que comprende las siguientes etapas: preparar una fundición, producir lingotes por la cristalización de fundición, homogeneizar el recocido de los lingotes, producir artículos forjados al trabajar los lingotes homogeneizados, calentar los artículos forjados, mantener los artículos forjados durante el endurecimiento a la temperatura predeterminada y el endurecimiento con agua de los artículos forjados, envejecer los artículos forjados, en donde la homogeneización del recocido se realiza a la temperatura de no más de 560 °C, los artículos forjados se mantienen durante el endurecimiento a la temperatura en el rango de 380-450 °C, y los artículos forjados se envejecen a la temperatura de no más de 170 °C.

De acuerdo con algunas modalidades preferidas, los artículos forjados pueden envejecerse como sigue:

- al menos en dos etapas: en una primera etapa a la temperatura de 90-130 °C, y en una segunda etapa a la temperatura de hasta 170 °C;
- al mantenerlos a una temperatura ambiente durante al menos 72 horas.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención proporciona un método para la producción de fundiciones de una

aleación de alta resistencia, que comprende las siguientes etapas: preparar una fundición, producir una fundición, calentar la fundición, mantener la fundición durante el endurecimiento a la temperatura predeterminada, endurecer con agua la fundición y envejecer la fundición, en donde la fundición se mantiene durante el endurecimiento a la temperatura de 380-560 °C, y la fundición se envejece a la temperatura de no más de 170 °C.

De acuerdo con algunas modalidades preferidas, las fundiciones pueden envejecerse como sigue:

- al menos en dos etapas: en una primera etapa a la temperatura de 90-130 °C, y en una segunda etapa a la temperatura de hasta 170 °C;
- al mantenerlas a una temperatura ambiente durante al menos 72 horas.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1a muestra una estructura de lingotes homogeneizados que es típica para la fundición de moldes de metal por las siguientes técnicas de fundición: la fundición a baja presión, la fundición por gravedad, la fundición por piezocristalización.

La Figura 1b muestra una estructura típica para la fundición de molde muerto, donde está presente un componente eutéctico grueso que deteriora las propiedades mecánicas.

La Figura 2 muestra un listón con una sección transversal de 6x55 mm hecho de la aleación producida al trabajar los lingotes homogeneizados a la temperatura inicial del lingote de 400 °C.

La Figura 3 muestra fundiciones de muestras en espiral hechas de la aleación reivindicada de la composición #6 (Tabla 1) y A356.2 que evidencia que la primera composición tiene una alta fluidez correspondiente con la aleación A356.2 (Tabla 8).

Modalidades de la invención

El rango reivindicado de elementos dopantes permite el logro de las altas propiedades mecánicas y el rendimiento de fundición y el tratamiento de trabajo. Para esto la estructura de una aleación de aluminio de alta resistencia debe ser como sigue: una solución de aluminio fortalecida con separaciones secundarias de las fases de los fortalecedores y un componente eutéctico que tiene la fracción de volumen de no menos del 2 % y una dimensión transversal promedio de no más de 2 µm. Dicha cantidad del componente eutéctico garantiza el rendimiento deseado para obtener lingotes y fundiciones.

Las cantidades reivindicadas de componentes dopantes que se proporcionan para lograr una estructura predeterminada dentro de la aleación se soportan por lo siguiente.

Las cantidades reivindicadas de zinc, magnesio, y cobre son requeridas para crear separaciones secundarias de la fase de fortalecimiento a través del endurecimiento por dispersión. En concentraciones más bajas, la cantidad será insuficiente para lograr el nivel deseado de propiedades de resistencia, y en cantidades más altas, el alargamiento relativo puede reducirse por debajo del nivel requerido, así como también el rendimiento de fundición y trabajo.

Se requieren las cantidades reivindicadas de hierro y níquel para generar en la estructura un componente eutéctico que es responsable del alto rendimiento de fundición. En concentraciones más altas de hierro y níquel, es probable que las fases de cristalización primaria se generen en la estructura que deterioran seriamente las propiedades mecánicas. En un contenido más bajo de elementos formadores eutécticos (hierro y níquel), hay un alto riesgo de agrietamiento en caliente en la fundición.

Las cantidades reivindicadas de circonio, escandio, y cromo se requieren para generar fases secundarias de Al<sub>3</sub>Zr y/o Al<sub>3</sub>(Zr,Sc) con la red Ll<sub>2</sub> y Al<sub>7</sub>Cr cuyo tamaño promedio no es más de 10-20 nm y 20-50 nm, respectivamente. En concentraciones más bajas, el número de partículas ya no será suficiente para aumentar las propiedades de resistencia de las fundiciones y los artículos semielaborados forjados, y en cantidades más altas, hay un riesgo de formar cristales primarios que afectan negativamente las propiedades mecánicas de las fundiciones y los artículos semielaborados forjados.

Las cantidades reivindicadas de titanio se requieren para modificar una solución de aluminio duro. En adición, el titanio puede usarse para generar fases secundarias con la red Ll<sub>2</sub> (en la introducción combinada de circonio y escandio) que son beneficiosas para las propiedades de resistencia. Si el contenido de titanio es menor que el recomendado, hay un riesgo de agrietamiento en caliente en la fundición. El contenido más alto da lugar al riesgo de creación de cristales primarios de la fase que comprende Ti en la estructura que deteriora las propiedades mecánicas.

El límite inventivo de la cantidad total de circonio, titanio, y escandio que no es más del 0,25 % en peso se basa en el riesgo de desarrollar cristales primarios que comprenden dichos elementos que pueden deteriorar las características mecánicas.

Ejemplos de las modalidades

Ejemplo 1

Para defender el rango de concentración en el que los elementos dopantes pueden crear la estructura requerida y proporcionar consecuentemente las propiedades mecánicas requeridas, en un entorno de laboratorio se produjeron 13 aleaciones en la forma de lingotes cilíndricos con el diámetro de 40 mm (las composiciones químicas se muestran en la Tabla 1). Las aleaciones se produjeron en un horno de resistencia en crisoles de grafito de metales puros y maestros (% en peso), en particular de aluminio (99,95), que incluye el aluminio obtenido mediante el uso de una tecnología de ánodo inerte (99,7), zinc (99,9), magnesio (99,9) y maestros Al-20Ni, Al-5Ti, Al-10Cr, Al-2Sc y Al-10Zr.

Tabla 1 - Composiciones de aleaciones experimentales

| Núm. | Concentración en la aleación, % en peso |     |      |      |        |      |        |        |        |          |
|------|-----------------------------------------|-----|------|------|--------|------|--------|--------|--------|----------|
|      | Zn                                      | Mg  | Ni   | Fe   | Cu     | Zr   | Sc     | Ti     | Cr     | Al       |
| 1    | 3,5                                     | 1,0 | 0,3  | 0,2  | <0,001 | 0,01 | 0,01   | 0,01   | <0,001 | El resto |
| 2    | 3,8                                     | 1,2 | 2,5  | 0,3  | 0,01   | 0,15 | 0,1    | <0,001 | 0,10   | El resto |
| 3    | 5,2                                     | 2,0 | 0,5  | 0,4  | 0,25   | 0,2  | <0,001 | 0,02   | <0,001 | El resto |
| 4    | 5,9                                     | 1,8 | 0,8  | 0,6  | 0,01   | 0,12 | 0,05   | 0,05   | <0,001 | El resto |
| 5    | 6,1                                     | 2,1 | 1,5  | 0,8  | 0,15   | 0,11 | 0,05   | 0,03   | 0,1    | El resto |
| 6    | 6,2                                     | 2,0 | 0,9  | 0,8  | 0,01   | 0,14 | <0,001 | 0,02   | 0,04   | El resto |
| 7    | 6,3                                     | 2,1 | 0,6  | 0,3  | 0,25   | 0,14 | 0,1    | <0,001 | <0,001 | El resto |
| 8    | 6,3                                     | 2,1 | 0,55 | 0,45 | 0,001  | 0,11 | <0,001 | 0,015  | <0,001 | El resto |
| 9    | 6,5                                     | 2,4 | 1,0  | 1,0  | 0,05   | 0,11 | <0,001 | <0,001 | 0,12   | El resto |
| 10   | 7,4                                     | 2,6 | 0,7  | 0,3  | 0,001  | 0,14 | <0,001 | <0,001 | 0,15   | El resto |
| 11   | 7,5                                     | 2,8 | 2,3  | 1,1  | 0,4    | 0,08 | <0,001 | 0,08   | 0,15   | El resto |
| 12   | 6,3                                     | 2,0 | 0,8  | 1,0  | 0,001  | 0,11 | <0,001 | 0,015  | 0,11   | El resto |
| 13   | 6,4                                     | 1,9 | 0,5  | 0,4  | 0,001  | 0,20 | 0,10   | 0,05   | 0,15   | El resto |

El grado de fortalecimiento de las aleaciones experimentales en base a cómo cambió la dureza (HB) después del tratamiento térmico con respecto a la resistencia máxima bajo la condición de tratamiento térmico Núm. T6 (endurecimiento y envejecimiento con agua) se evaluó por valores de dureza de acuerdo con la escala Brinell. Los parámetros estructurales, en particular, la presencia de cristales primarios se evaluó metalográficamente. Los resultados de los cambios de dureza HB y el análisis de la estructura, así como también las cantidades, se muestran en la Tabla 2.

Como puede verse de la Tabla 2, los parámetros de estructura requeridos y el efecto del endurecimiento por dispersión se proporcionan sólo por la aleación reivindicada (las composiciones 2-10), excepto las composiciones 1 y 11-13. Por ejemplo, la aleación que tiene la composición 1 tiene una baja tendencia al fortalecimiento, y su valor de dureza es 81 HB. La estructura de la aleación Núm.11 contenía partículas aciculares gruesas de la fase de  $Al_3Fe$  que tiene la dimensión transversal de más de 3  $\mu m$ , y la cantidad estimada de estos cristales primarios era del 0,18 % en volumen. La estructura de la aleación Núm. 12 contenía partículas aciculares inaceptables de  $Al_3Fe$  que eran de naturaleza eutéctica. La estructura de la aleación Núm. 13, cuya cantidad total de Zr, Sc, y Ti era del 0,35 %, contenía cristales primarios de estos metales de transición. La presencia de partículas de ambos tipos es inaceptable, y en algunos artículos deteriorarán las características mecánicas, además, estos elementos no proporcionarán efecto beneficioso.

Tabla 2 - Parámetros de dureza y estructura de aleaciones experimentales

| Núm. <sup>1</sup> | HB  | Fases que contienen Fe y Ni                        | Q <sub>v</sub> , % en volumen |           |
|-------------------|-----|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
|                   |     |                                                    | Fe-eut                        | Fe-(otro) |
| 1                 | 81  | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 1,15                          | -         |
| 2                 | 102 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 6,05                          | -         |
| 3                 | 153 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 2,16                          | -         |
| 4                 | 147 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 3,43                          | -         |
| 5                 | 162 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 5,70                          | -         |
| 6                 | 158 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 4,19                          | -         |
| 7                 | 162 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 2,16                          | -         |
| 8                 | 155 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 2,42                          | -         |
| 9                 | 168 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 4,96                          | -         |
| 10                | 188 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut                           | 2,42                          | -         |
| 11                | 185 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut, Al <sub>3</sub> Fe-prim. | 8,00                          | 0,18      |
| 12                | 159 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut, Al <sub>3</sub> Fe-eut.  | 4,13                          | 0,25      |
| 13                | 162 | Al <sub>9</sub> FeNi-eut, (Al,Zr,Sc,Ti)-prim.      | 2,16                          | -         |

<sup>1</sup> Composiciones de aleación (vea la Tabla 1)

En la estructura de las aleaciones 2-10, el hierro y el níquel (en la relación Ni/Fe≥1) crean ventajosamente aluminuros de la fase eutética de Al<sub>9</sub>FeNi (comprendidos en los eutécticos de Al+Al<sub>9</sub>FeNi) que tienen la morfología beneficiosa y la dimensión transversal promedio de no más de 2 μm y la fracción de volumen de más del 2 % en volumen.

#### Ejemplo 2

La aleación inventiva con la composición 8 (Tabla 1) se usó en un entorno de laboratorio para producir lingotes cilíndricos que tienen un diámetro de 125 mm y la longitud de 1 m. A continuación, los lingotes se homogeneizaron a la temperatura de 540 °C. La estructura de los lingotes homogeneizados se muestra en la Figura 1. Los lingotes homogeneizados se trabajaron en un listón con una sección transversal de 6x55 mm (Figura 2) en la instalación comercial LLC "KraMZ" a la temperatura inicial de los lingotes de 400 °C. Los artículos semielaborados forjados se endurecieron con agua desde la temperatura de 450 °C. Los artículos semielaborados prensados se envejecieron a una temperatura ambiente (envejecimiento natural) - la condición de tratamiento térmico Núm. T4, y a 160 °C - la condición de tratamiento térmico Núm. T6. Los resultados de las propiedades mecánicas de tensión de los listones prensados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 - Propiedades mecánicas de los listones prensados

| Núm. <sup>1</sup> | Condición de envejecimiento | σ, MPa | σ <sub>0,2</sub> , MPa. | δ, % |
|-------------------|-----------------------------|--------|-------------------------|------|
| 8                 | T4                          | 348    | 229                     | 19,2 |
|                   | T6                          | 486    | 452                     | 14,4 |

<sup>1</sup> Composición Núm. 3 (vea la Tabla 1)

#### Ejemplo 3

La aleación inventiva de las composiciones 2, 4, 6, 8, 10 (Tabla 1) se usó en un entorno de laboratorio para producir lingotes planos que tienen una sección transversal de 120x40 mm. A continuación, los lingotes se homogeneizaron. Los lingotes homogeneizados se enrollaron en caliente en una lámina con el grosor de 5 mm a la temperatura inicial de 450 °C y entonces se enrollaron en frío en una lámina con el grosor de 1 mm. Las láminas enrolladas se endurecieron con agua desde la temperatura de 450 °C. Las láminas se envejecieron a la temperatura de 160 °C (condición T6). Los resultados de las propiedades mecánicas de tensión de las láminas se muestran en la Tabla 4. La composición de la aleación Núm.11 que está más allá del rango reivindicado tuvo pobre rendimiento de trabajo (en la etapa de trabajo la muestra se destruyó).

Tabla 4 - Propiedades mecánicas de las láminas bajo la condición Núm. T6

| Núm. <sup>1</sup>                                     | $\sigma_{0,2}$ , MPa    | $\sigma$ , MPa | $\delta$ , % |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|--------------|
| 2                                                     | 410                     | 360            | 14,5         |
| 4                                                     | 489                     | 531            | 7,4          |
| 6                                                     | 471                     | 511            | 8,5          |
| 8                                                     | 462                     | 498            | 8,1          |
| 10                                                    | 508                     | 544            | 7,1          |
| 11                                                    | Agrietamiento del rollo |                |              |
| <sup>1</sup> Composición de aleación (vea la Tabla 1) |                         |                |              |

#### Ejemplo 4

La duración del envejecimiento natural a una temperatura ambiente (condición Núm. T4) se seleccionó en base al cambio de dureza (HB) mediante el uso como un ejemplo de la aleación inventiva con la composición 4 (Tabla 1). Los resultados de la medición de dureza para las láminas endurecidas se muestran en la Tabla 5. Como puede verse de la Tabla 5, el crecimiento de la dureza comenzó a desacelerarse después de 24 horas, y después de 72 horas de mantenimiento, la brecha entre los valores máximos no era más del 3 %.

Tabla 5 - Cambio de dureza en el envejecimiento natural (condición Núm. T4)

| Tiempo después del endurecimiento, horas | 1  | 3  | 8   | 24  | 72  | 240 |
|------------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| HB                                       | 86 | 90 | 108 | 125 | 135 | 139 |

#### Ejemplo 5

Para defender la condición seleccionada para la homogeneización y endurecimiento en el rango reivindicado de las concentraciones de aleación, se calcularon temperaturas críticas de solidificación y solvus de las composiciones experimentales mostradas en la Tabla 1. La Tabla 6 muestra los resultados del cálculo.

Tabla 6 - Temperaturas de solidificación y solvus de las aleaciones experimentales

| Núm. <sup>1</sup>                                                                                      | $T_{sol}$ , °C | $T_{ss}$ , °C |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|
| 2                                                                                                      | 610            | 328           |
| 3                                                                                                      | 587            | 386           |
| 4                                                                                                      | 595            | 379           |
| 5                                                                                                      | 580            | 403           |
| 6                                                                                                      | 590            | 392           |
| 7                                                                                                      | 579            | 401           |
| 8                                                                                                      | 588            | 394           |
| 9                                                                                                      | 575            | 412           |
| 10                                                                                                     | 568            | 422           |
| 11                                                                                                     | 537            | 455           |
| <sup>1</sup> vea la Tabla, $T_{sol}$ - temperatura de solidificación; $T_{ss}$ - temperatura de solvus |                |               |

Como puede verse de la Tabla 6, la mayor posible temperatura de calentamiento obtenida en la etapa de homogeneización del lingote para el rango reivindicado de concentraciones de elementos dopantes está en el rango de 568 a 610 °C, respectivamente. El endurecimiento con agua para obtener una solución de aluminio duro supersaturada de aleaciones experimentales puede realizarse a una temperatura de calentamiento por encima de 328 °C y 422 °C, en dependencia

del rango de concentraciones de elementos dopantes. Los artículos producidos de la composición Núm. 9 a una temperatura de calentamiento por encima de 537 °C se fundirán lo que no es recuperable.

#### Ejemplo 6

Los efectos de la velocidad de enfriamiento en las propiedades mecánicas se evaluaron en base a los valores de las propiedades mecánicas ( $\sigma$  - la resistencia de tensión, MPa,  $\sigma_{0,2}$  - el punto de producción, MPa,  $\delta$  - el alargamiento específico, %) mediante el uso de muestras cilíndricas torcidas que tienen una longitud que es 5 veces el diámetro y recortadas de una fundición de "barra" de acuerdo con el GOST 1593. Para esto, las muestras se fundieron en un molde muerto y un molde de metal. Las propiedades mecánicas se compararon bajo la condición Núm. T6 que proporcionó las mejores propiedades mecánicas (Tabla 7).

Tabla 7

| Núm. <sup>1</sup>                                     | Material del molde | d, $\mu\text{m}$ | $\sigma$ , MPa | $\sigma_{0,2}$ , MPa | $\delta$ , % |
|-------------------------------------------------------|--------------------|------------------|----------------|----------------------|--------------|
| Núm. <sup>1</sup>                                     | Material del molde | d, $\mu\text{m}$ | $\sigma$ , MPa | $\sigma_{0,2}$ , MPa | $\delta$ , % |
| 6                                                     | Molde de metal     | 1,8              | 496            | 441                  | 6,4          |
|                                                       | Molde muerto       | 4,5              | 297            | -                    | <0,1         |
| <sup>1</sup> Composición de aleación (vea la Tabla 1) |                    |                  |                |                      |              |

Como puede verse de los resultados de la comparación, la formación de la estructura deseada con el tamaño promedio de un componente eutéctico de 1,8  $\mu\text{m}$  provocó la diferencia entre las propiedades mecánicas. En adición, esta estructura mostrada en la Figura 1a es típica para la fundición de moldes de metal realizada por los siguientes procesos: la fundición a baja presión, la fundición por gravedad, la fundición por piezocrystalización. Una estructura de fundición de molde muerto (Figura 1b) tendrá un componente eutéctico grueso que afecta negativamente las propiedades mecánicas.

#### Ejemplo 7

Se evaluó el rendimiento de llenado de moldes de fundición para la fluidez en una muestra en "espiral". Las fundiciones en espiral mostradas en la Figura 3 hechas de la aleación reivindicada de la composición 6 (Tabla 1) y A356.2 representan que la primera composición es altamente fluida y corresponde a la aleación A356.2 (Tabla 8).

Tabla 8

| Núm.                                                  | Longitud de la barra, mm |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| 6 <sup>1</sup>                                        | 525                      |
| A356.2                                                | 585                      |
| <sup>1</sup> Composición de aleación (vea la Tabla 1) |                          |

#### Ejemplo 8

El rendimiento de la aleación reivindicada para uniones de soldadura producidas por soldadura por arco de argón se evaluó mediante el uso de las composiciones 14 y 15 (Tabla 9). Para hacer esto, se produjeron láminas mediante el uso del proceso del Ejemplo 3 y entonces se soldaron y trataron térmicamente bajo la condición Núm. T6. Resultados de los experimentos de unión de soldadura.

Tabla 9 - Composiciones de aleaciones experimentales

| Núm. | Concentración en la aleación, % en peso |     |     |     |      |      |        |      |      |          |
|------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|--------|------|------|----------|
|      | Zn                                      | Mg  | Ni  | Fe  | Cu   | Zr   | Sc     | Ti   | Cr   | Al       |
| 14   | 5,7                                     | 1,9 | 1,5 | 0,8 | 0,15 | 0,11 | <0,001 | 0,05 | 0,08 | Descanso |
| 15   | 6,5                                     | 2,4 | 0,6 | 0,3 | 0,25 | 0,14 | <0,001 | 0,01 | 0,15 | Descanso |

Tabla 10 - Propiedades mecánicas de las láminas bajo la condición Núm. T6

| Núm. <sup>1</sup>                                     |                    | $\sigma_{0,2}$ , MPa | $\sigma$ , MPa | $\delta$ , % |
|-------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------|
| 14                                                    | Sin soldaduras     | 482                  | 501            | 12,1         |
|                                                       | Unión de soldadura | 471                  | 492            | 8,5          |
| 15                                                    | Sin soldaduras     | 468                  | 492            | 8,1          |
|                                                       | Unión de soldadura | 461                  | 481            | 5,1          |
| <sup>1</sup> Composición de aleación (vea la Tabla 9) |                    |                      |                |              |

#### Ejemplo 9

Se usaron aleaciones de las composiciones 16 y 17 para producir fundiciones de "barra" de acuerdo con GOST 1593. Las fundiciones se probaron después del endurecimiento desde la temperatura de 540 °C y el envejecimiento natural a una temperatura ambiente durante 72 horas.

Tabla 11 - Composiciones de aleaciones experimentales

| Núm. | Concentración en la aleación, % en peso |     |     |     |      |      |      |      |        |          |
|------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------|----------|
|      | Zn                                      | Mg  | Ni  | Fe  | Cu   | Zr   | Sc   | Ti   | Cr     | Al       |
| 16   | 5,5                                     | 2,1 | 1,5 | 0,3 | 0,15 | 0,15 | 0,08 | 0,02 | <0,001 | Descanso |
| 17   | 6,2                                     | 2,4 | 0,6 | 0,5 | 0,25 | 0,11 | 0,1  | 0,04 | <0,001 | Descanso |

Tabla 12 - Propiedades mecánicas de las fundiciones bajo la condición Núm. T4

| Núm.                                                   | $\sigma_{0,2}$ , MPa | $\sigma$ , MPa | $\delta$ , % |
|--------------------------------------------------------|----------------------|----------------|--------------|
| 16                                                     | 231                  | 392            | 15,2         |
| 17                                                     | 243                  | 415            | 12,3         |
| <sup>1</sup> Composición de aleación (vea la Tabla 11) |                      |                |              |

#### Ejemplo 10

Se seleccionó una temperatura de envejecimiento realizada siguiente a la operación de endurecimiento en base al cambio de dureza (HB) mediante el uso como un ejemplo de la aleación inventiva con la composición 4 (Tabla 1). Los resultados de la medición de dureza para las láminas endurecidas se muestran en la Tabla 13. Como puede verse de la Tabla 13, la ganancia significativa de fortalecimiento se observa hasta 160 °C. El envejecimiento a 180 °C reduce la dureza debido a los procesos de envejecimiento.

Tabla 13 - Cambio de dureza en el rango de temperatura

| Temperatura de envejecimiento, °C | 120 | 140 | 160 | 180 |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| HB                                | 170 | 173 | 181 | 155 |

## REIVINDICACIONES

1. Una aleación en base a aluminio de alta resistencia que comprende zinc, magnesio, níquel, hierro, cobre, y circonio, y que comprende adicionalmente al menos un metal seleccionado del grupo que incluye titanio, escandio, y cromo, con las siguientes relaciones, % en peso:

|          |            |
|----------|------------|
| Zinc     | 3,8-7,4    |
| Magnesio | 1,2-2,6    |
| Níquel   | 0,5-2,5    |
| Hierro   | 0,3-1,0    |
| Cobre    | 0,001-0,25 |
| Circonio | 0,05-0,2   |
| Titanio  | 0,01-0,05  |
| Escandio | 0,05-0,10  |
| Cromo    | 0,04-0,15  |
| Aluminio | el resto,  |

en donde el hierro y el níquel crean aluminuros de la fase eutéctica de  $Al_9FeNi$  cuya fracción de volumen no es menos del 2 % en volumen, dichos aluminuros eutécticos que tienen el tamaño de partícula de no más de 2  $\mu m$ .

2. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la cantidad total de circonio y titanio no es más del 0,25 % en peso.
3. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la cantidad total de circonio, titanio, y escandio no es más del 0,25 % en peso.
4. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la cantidad total de circonio y escandio no es más del 0,25 % en peso.
5. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la cantidad total de circonio, titanio, y cromo no es más del 0,20 % en peso.
6. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde existe la relación  $Ni/Fe \geq 1$ .
7. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el aluminio se produce por electrólisis mediante el uso de un ánodo inerte.
8. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el circonio y el titanio están sustancialmente en la forma de separaciones secundarias que tienen el tamaño de partícula de no más de 20 nm y la red cristalina  $L1_2$ .
9. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde se cumple la condición  $Zn/Mg > 2,7$ .
10. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde comprende adicionalmente titanio y cromo, con las siguientes relaciones, % en peso:

|          |           |
|----------|-----------|
| Zinc     | 5,7-7,2   |
| Magnesio | 1,9-2,4   |
| Níquel   | 0,6-1,5   |
| Hierro   | 0,3-0,8   |
| Cobre    | 0,15-0,25 |
| Circonio | 0,11-0,14 |
| Titanio  | 0,01-0,05 |
| Cromo    | 0,04-0,15 |
| Aluminio | el resto, |

en donde la cantidad total de circonio y titanio no es más del 0,25 % en peso.

11. La aleación de acuerdo con la reivindicación 10, en donde el aluminio se produce por electrólisis mediante el uso de un ánodo inerte.

12. La aleación de acuerdo con la reivindicación 10, en donde el circonio y el titanio están sustancialmente en la forma de separaciones secundarias que tienen el tamaño de partícula de no más de 20 nm y la red cristalina L1<sub>2</sub>.
- 5 13. La aleación de acuerdo con la reivindicación 10, en donde se cumple la condición  $Zn/Mg > 2,7$ .
14. La aleación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde comprende adicionalmente titanio y escandio con las siguientes relaciones, % en peso:
- |    |          |           |
|----|----------|-----------|
| 10 | Zinc     | 5,5-6,2   |
|    | Magnesio | 1,8-2,4   |
|    | Hierro   | 0,3-0,6   |
|    | Cobre    | 0,01-0,25 |
| 15 | Níquel   | 0,6-1,5   |
|    | Circonio | 0,11-0,15 |
|    | Titanio  | 0,02-0,05 |
|    | Escandio | 0,05-0,10 |
| 20 | Aluminio | el resto. |
15. La aleación de acuerdo con la reivindicación 14, en donde la cantidad total de circonio, titanio, y escandio no es más del 0,25 % en peso.
- 25 16. La aleación de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el aluminio se produce por electrólisis mediante el uso de un ánodo inerte.
17. La aleación de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el circonio, titanio, y escandio están sustancialmente en la forma de separaciones secundarias que tienen el tamaño de partícula de no más de 20 nm y la red cristalina L1<sub>2</sub>.
- 30 18. La aleación de acuerdo con la reivindicación 15, en donde se cumple la condición  $Zn/Mg > 2,7$ .
- 35 19. Un artículo de una aleación en base a aluminio **caracterizado porque** se hace de una aleación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-18.
20. El artículo de acuerdo con la reivindicación 19, **caracterizado porque** se forja.
- 40 21. El artículo de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado porque** se selecciona del grupo que incluye una lámina enrollada y un perfil prensado.
22. El artículo de acuerdo con la reivindicación 19, **caracterizado porque** está en la forma de una fundición.
- 45 23. Un método para la producción de un artículo forjado hecho de una aleación de alta resistencia, que comprende preparar una fundición, producir lingotes por la cristalización de fundición, homogeneizar el recocido de los lingotes, producir artículos forjados al trabajar los lingotes homogeneizados, calentar los artículos forjados, mantener los artículos forjados durante el endurecimiento a la temperatura predeterminada y el endurecimiento con agua de los artículos forjados, envejecer los artículos forjados, en donde la aleación está de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-18, en donde los lingotes se homogenizan por recocido a la temperatura de no más de 560 °C, un artículo forjado se mantiene durante el endurecimiento a la temperatura en el rango de 380-450 °C, y el artículo forjado se envejece a la temperatura de no más de 170 °C.
- 50 24. El método de acuerdo con la reivindicación 23, en donde el artículo forjado se envejece al menos en dos etapas: en una primera etapa a la temperatura de 90-130 °C, y en una segunda etapa a la temperatura de hasta 170 °C.
- 55 25. El método de acuerdo con la reivindicación 23, en donde el artículo forjado se envejece con el mantenimiento a una temperatura ambiente durante al menos 72 horas.
- 60 26. Un método para la producción de fundiciones de una aleación de alta resistencia, que comprende preparar una fundición, producir una fundición, calentar la fundición, mantener la fundición durante el endurecimiento a la temperatura predeterminada, endurecer con agua la fundición y envejecer la fundición, en donde la aleación está de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-18, en donde la fundición se mantiene durante el endurecimiento a la temperatura de 380-560 °C, y la fundición se envejece a la temperatura de no más de 170 °C.
- 65 27. El método de acuerdo con la reivindicación 23, en donde la fundición se envejece al menos en dos etapas: en una primera etapa a la temperatura de 90-130 °C, y en una segunda etapa a la temperatura de hasta 170 °C.

28. El método de acuerdo con la reivindicación 23, en donde la fundición se envejece con el mantenimiento a una temperatura ambiente durante al menos 72 horas.

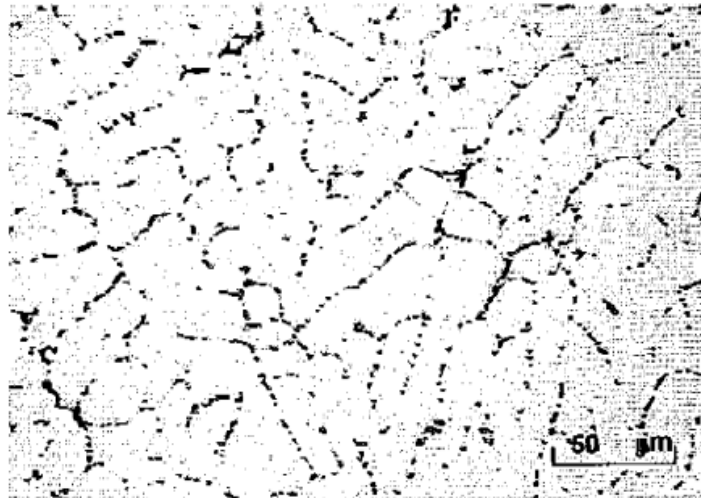


FIGURA 1a

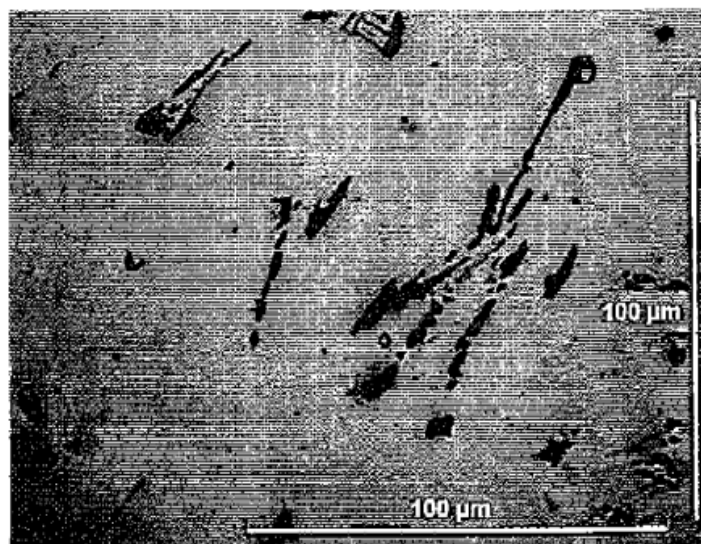


FIGURA 1b

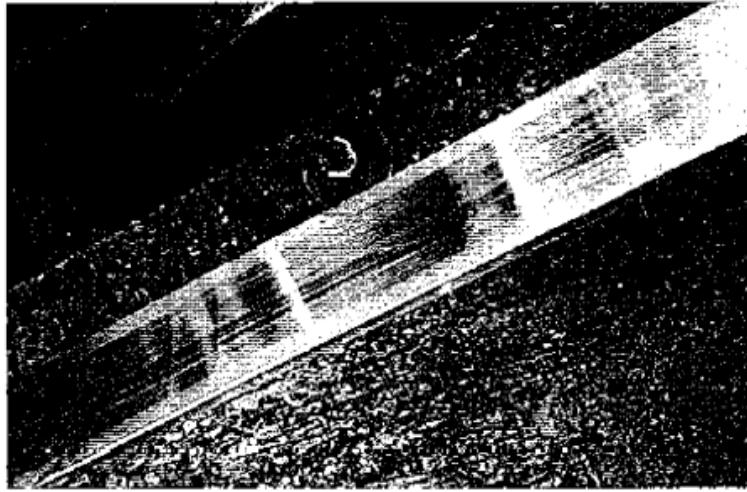


FIGURA 2

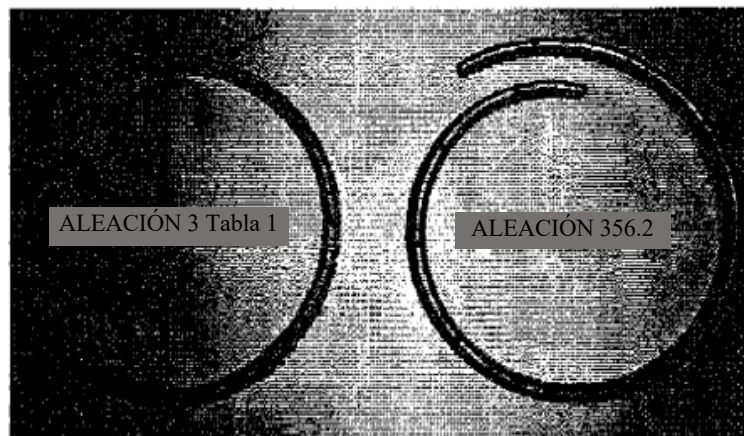


FIGURA 3