

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 806**

51 Int. Cl.:
B22D 21/00 (2006.01)
B22D 17/08 (2006.01)
C22C 23/02 (2006.01)
C22C 23/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06805766 .0**
96 Fecha de presentación: **19.09.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1957221**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.08.2008**

54 Título: **Una combinación de un proceso de fundición y composiciones de aleación que resultan en partes fundidas con combinación superior de propiedades de fluencia lenta de temperatura elevada, ductilidad y rendimiento de corrosión**

30 Prioridad:
10.11.2005 EP 05077583

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.05.2012

73 Titular/es:
**MAGONTEC GMBH
INDUSTRIESTRASSE 61
46240 BOTTROP, DE**

72 Inventor/es:
**BAKKE, Per y
HAAKON, Westengen**

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 379 806 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

Una combinación de un proceso de fundición y composiciones de aleación que resultan en partes fundidas con combinación superior de propiedades de fluencia lenta de temperatura elevada, ductilidad y rendimiento de corrosión.

5 La invención se refiere a un proceso para fundir una aleación de magnesio que consiste en

2,0 - 6,00% en peso de aluminio,

3,00 - 8,00% en peso de metales de tierras raras (metales RE),

siendo la relación entre la cantidad de metales RE y la cantidad de aluminio expresado como % en peso mayor a 0,8,

10 siendo al menos 40% en peso de los metales RE cerio,

menos de 0,5% en peso de manganeso,

menos de 1,00% en peso de zinc,

menos de 0,01% en peso de calcio,

menos de 0,01% en peso de estroncio,

15 y siendo el resto magnesio e impurezas inevitables, estando el nivel de impureza total por debajo de 0,1% en peso.

Las aleaciones basadas en magnesio son muy utilizadas como partes de fundición en las industrias aeroespacial y automotriz.

20 Las partes de fundición de aleaciones basadas en magnesio pueden producirse mediante métodos de fundición convencionales, que incluyen fundición a presión, fundición en arena, fundición de molde permanente y semipermanente, fundición en molde de yeso y fundición a la cera perdida.

Las aleaciones basadas en Mg presentan algunas propiedades particularmente ventajosas que han provocado un aumento de la demanda de partes de fundición de aleaciones basadas en magnesio en la industria automotriz. Estas propiedades incluyen baja densidad, alta relación entre resistencia y peso, buena fundibilidad, fácil maquinabilidad y buena amortiguación.

25 Se sabe que las aleaciones de fundición a presión de magnesio más comunes, como las aleaciones de Mg-Al o las aleaciones de Mg-Al-Zn, pierden su resistencia a la fluencia lenta a temperaturas por encima de 120°C. Las aleaciones de Mg-Al-Si han sido desarrolladas para aplicaciones de temperatura más alta y ofrecen solamente una mejora limitada en la resistencia a la fluencia lenta. Las aleaciones del sistema de Mg-Al-Ca y Mg-Al-Sr ofrecen una mejora adicional en la resistencia a la fluencia lenta, pero una gran desventaja de estas aleaciones son los problemas con la fundibilidad. Este problema es particularmente importante con velocidades de metal altas que chocan directamente con la superficie del troquel, el llamado efecto de golpe de ariete.

30 Se sabe que la aleación AE48 (4% AP, 2-3 % RE) ofrece una mejora significativa en propiedades de temperaturas elevadas y corrosión.

35 Las aleaciones de Mg-Al que contienen elementos como Sr y Ca ofrecen una mejora adicional en propiedades de fluencia lenta, pero a costa de una reducción de la fundibilidad. Las aleaciones del sistema de Mg-Al-Ca y Mg-Al-Sr ofrecen una mejora adicional en la resistencia a la fluencia lenta, pero una gran desventaja de estas aleaciones son los problemas con la fundibilidad. Este problema es particularmente importante con velocidades de metal altas que chocan directamente con la superficie del troquel, el llamado efecto de golpe de ariete.

40 En las Figuras 1A y 1B adjuntas se muestran esquemáticamente máquinas de fundición a presión de cámaras de frío y cámaras de calor, respectivamente. Cada máquina tiene un troquel 10, 20 provisto con un sistema de amortiguación hidráulica 11, 21 respectivamente.

45 El metal fundido se introduce en el troquel mediante un cilindro de impacto 12, 22 provisto con un pistón 13, 23 respectivamente. En el sistema de cámara de frío se requiere un sistema auxiliar para medir el metal al cilindro de impacto horizontal. La máquina de cámara de calor (Fig. 1 B) usa un sistema de pistones vertical (12, 23) directamente en la aleación fundida.

Para obtener el excelente rendimiento de las aleaciones Mg-Al-Re, es obligatorio que las aleaciones se fundan bajo condiciones de enfriamiento extremadamente rápidas. Este es el caso para el proceso de fundición a presión de alta presión. El troquel de acero 10, 20 está equipado con un sistema de enfriamiento de aceite (o agua) que controla la temperatura del troquel en el rango de 200-300°C. Un prerrequisito para la buena calidad es un tiempo corto de

relleno del troquel para evitar la solidificación del metal durante el relleno. Se recomienda un tiempo de relleno del troquel en el orden de 10^{-2} s x grosor de parte medio (mm). Esto se obtiene forzando la aleación a través de una compuerta con altas velocidades típicamente en el rango de 30-300 m/s. Se utilizan velocidades del émbolo de hasta 10 m/s con diámetros suficientemente grandes para obtener los flujos de volumen deseados en el cilindro de impacto para los tiempos cortos de relleno que se necesitan. Es común usar presiones estáticas del metal de 20-70 MPa y una intensificación de la presión posterior de hasta 150 MPa. Con este método de fundición, la tasa de enfriamiento resultante del componente generalmente se ubica en el rango de 10-1000 °C/s, dependiendo del grosor del componente que se funde. Para las aleaciones AE este es un factor clave para determinar las propiedades, debido a la alta tasa de enfriamiento general de la parte y en particular a la tasa de enfriamiento extremadamente alta de la capa de superficie.

En la Fig. 2 adjunta se muestra la relación entre el rango de solidificación y la microestructura. En el eje horizontal se muestra la tasa de solidificación expresada como ° C/S y en la escala vertical a la izquierda se muestran los espaciados de brazo dendrítico expresados en μm , mientras que en la escala vertical a la derecha se muestra el diámetro de grano expresado en μm . La línea 30 indica el tamaño de grano obtenido, mientras que la línea 31 es el valor obtenido para los espaciados de brazo dendrítico secundarios.

El refinamiento de grano se obtiene con la fundición a presión mediante la tasa de enfriamiento. Como se mencionó anteriormente, por lo general se logran tasas de enfriamiento en el rango de 10-1000 °C/s. Esto generalmente resulta en tamaños de grano en el rango de 5-100 μm .

Es bien sabido que el tamaño de grano fino es beneficioso para la ductilidad de una aleación. Esta relación se ilustra en la Fig. 3 adjunta, en la que se muestra la relación entre el tamaño de grano y la elongación relativa. En el eje horizontal se representa el tamaño de grano de arreglo expresado en μm , mientras que el eje vertical proporciona la elongación relativa expresada en %. En la gráfica se muestran dos composiciones diferentes, primero Mg puro, línea 35 y una aleación de Mg designada AZ91, línea 36.

Es bien sabido además que el tamaño de grano fino es beneficioso para la resistencia de rendimiento a la tensión de una aleación. Esta relación (Hall-Petch) se muestra en la Fig. 4 adjunta. En el eje horizontal se representa el diámetro de grano, expresado como $d^{-0,5}$, el cual se ha expresado en μm , y en el eje vertical se muestra la resistencia de rendimiento a la tensión expresada en MPa.

Es evidente, por lo tanto, que el tamaño de grano fino proporcionado por las tasas de enfriamiento muy altas facilitadas por el proceso de fundición a presión es una necesidad para obtener resistencia a la tensión y ductilidad.

El término "fundibilidad" describe la capacidad de una aleación para fundirse en un producto final con funcionalidades y propiedades requeridas. Generalmente contiene 3 categorías: (1) la capacidad para formar una parte con todas las características y dimensiones geométricas deseadas, (2) la capacidad para producir una parte densa con las propiedades deseadas, y (3) los efectos en la eficiencia de las máquinas de fundición a presión, el equipamiento de fundición y el proceso de fundición a presión.

La solicitud de patente alemana 2122148 describe aleaciones tipo Mg-Al-RE, principalmente aleaciones Mg-Al-RE con contenido de RE < 3% en peso, si bien también se describen aleaciones con un contenido más alto de RE. Se sabe que la aleación AE42 (4% Al, 2-3% RE) ofrece una mejora significativa en propiedades de temperaturas elevadas y corrosión. Se ha probado que las pequeñas adiciones de RE a aleaciones de Mg-Al provocan una mejora significativa en las propiedades de corrosión, pero un deterioro en la fundibilidad, ya que con más frecuencia se registran problemas con la adherencia al troquel. En la Fig. 5 adjunta se muestran las regiones de la fundibilidad excelente, escasa y muy escasa en el sistema Mg-Al-Re. En el eje horizontal se muestra la cantidad de Al expresada como % en peso, mientras que en el eje vertical se muestra la cantidad de RE expresada en % en peso. La línea 40 es la línea que indica la solubilidad de RE a 680°C, mientras que la línea 41 indica la solubilidad de RE a 640°C. La región (oscura) 42 representa la composición con muy escasa fundibilidad. La región (intermedia) 43 representa la composición con escasa fundibilidad y la región 44 (clara) representa las composiciones con excelente fundibilidad. Como se ilustra en la Fig. 5, la fundibilidad empeora a medida que aumenta el contenido de RE de la aleación. Sin embargo, como indica la Fig. 5, hay una región con RE >3,5% en peso (el límite superior restringido por la solubilidad de RE), Al en el rango de 2,5% a 5,0% y asimismo descrito con una relación %RE/%Al mayor a 0,8 donde la fundibilidad del troquel de alta presión es excelente.

Por tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar aleaciones basadas en magnesio de relativamente bajo costo con un mejor rendimiento de temperatura elevada y una mejor fundibilidad.

Debido a la formación de fases dispersoides Al_xRE_y , las composiciones de la presente invención minimizan la fracción de volumen de la fase $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ frágil (la relación RE/Al en las fases dispersoides aumenta con el mayor contenido de %RE/%Al en la aleación). Debido a que la fase $\text{Mg}_{17}\text{Al}_2$ eutéctica se funde a aproximadamente 420°C, las aleaciones Mg-Al convencionales, como AM50, AM60 y AZ91, tendrán un rango de solidificación cercano a 200°C como se muestra en la Fig. 6 adjunta. La Fig. 6 muestra el sólido de fracción (expresado en % en peso) en el eje horizontal con respecto a la temperatura (°C) en el eje vertical para un número de aleaciones. Las aleaciones de

Mg-Al-RE con relaciones %RE/%Al como se especifica en la presente invención se solidificarán por completo a aproximadamente 570°C, de ahí que el rango de solidificación solo es de aproximadamente 50°C.

En general, aumentar el contenido de aluminio en las aleaciones de fundición a presión de Mg-Al mejora la fundibilidad del troquel. Esto se debe a que las aleaciones de Mg-Al tienen un rango de solidificación amplio, lo que las vuelve inherentemente difíciles de fundir, salvo que una cantidad lo suficientemente grande de eutéctico esté presente al final de la solidificación. Esto puede explicar la buena fundibilidad de AZ91 D consistente con las curvas de enfriamiento que se muestran en la Fig. 6. A medida que el contenido de Al se reduce a 6, 5 y 2% en AM60, AM50 y AM20, respectivamente, el eutéctico restante disminuye a un nivel donde la alimentación se vuelve difícil durante las etapas finales de solidificación, lo que significa, para las partes de pared gruesa, que puede haber microporosidad e incluso vacíos más grandes. Para las partes con paredes delgadas, la capacidad para alimentar durante las etapas finales es menos importante (mientras que la fluidez de la aleación se vuelve el factor significativo), dado que la disminución del volumen se toma en parte mediante la reducción del grosor debido a la disminución a partir de las paredes del troquel. Las aleaciones AE44 y AE35 muestran características de enfriamiento muy diferentes a las aleaciones Mg-Al. El intervalo de solidificación es significativamente más pequeño, lo que indica que una porosidad de disminución concentrada puede reducirse durante la solidificación. Estas aleaciones tienen una buena fluidez durante el relleno del molde y, por lo tanto, pueden fundirse fácilmente en productos finales con menos defectos de fundición. La fundibilidad de AE44 y AE35 es relativamente igual a la de AZ91D.

Otro problema relacionado con el estrecho intervalo de solidificación es que la segregación inversa que comúnmente se observa que ocurre en aleaciones AZ91 D y AM no ocurrirá. Esto se ilustra mediante el hecho de que las aleaciones AE con altos contenidos de RE tienen una superficie brillante sin segregaciones de fase eutéctica de Mg-Al. La capa de superficie se solidifica durante e inmediatamente luego del relleno del troquel, y la temperatura se reducirá rápidamente por debajo de la temperatura solidus, evitando así que el metal fundido se fuerce hacia la superficie del troquel cuando comienza el encogimiento. Esto será beneficioso para prevenir reacciones entre la pared del troquel y el metal fundido, lo que podría conducir a la adherencia al troquel.

Un ejemplo con un grosor de pared de aproximadamente 3 mm que muestra tres capas con diferentes microestructuras en AE44 se proporciona en la Fig.7 adjunta. La capa de superficie, que tiene un grosor de aproximadamente 50 µm, consiste en granos equiaxiales con un tamaño de aproximadamente 10 µm. Esto es un tamaño de grano bastante pequeño, que puede explicarse por las condiciones de enfriamiento rápido en la pared del troquel. La capa intermedia es de aproximadamente 100 µm de grosor y tiene granos extremadamente finos. La morfología es diferente del formador y se observa DAS en el rango de 2-4 µm. El cambio en el punto de fusión de equilibrio debido a la presión puede explicar esta observación. Cuando el metal se vuelve presurizado, el punto de fusión de equilibrio aumenta, es decir, el metal se vuelve de repente subenfriado. En teoría, esto es igual para todas las aleaciones de Mg, pero hay una diferencia significativa en las características de solidificación entre las aleaciones. El núcleo consiste en granos equiaxiales de ~20 µm. La solidificación del núcleo está restringida por el flujo de calor del núcleo al troquel. Tanto el transporte de calor a través de la capa ya solidificada como la transferencia de calor sobre la interfaz de fundición/troquel proporcionarán una tasa de enfriamiento más lenta que la película y por lo tanto se forma una microestructura más gruesa.

Cuando el contenido de RE es bajo, o la relación %RE/%Al es baja como en AE42 o AE63, existirá la posibilidad de que Mg-Al eutéctico esté presente que podría segregar a la superficie y conducir a la adhesión. Esto puede explicar por qué AE42 aparece con una fundibilidad más escasa.

En la Fig. 8 se muestra un troquel de caja en la parte (superior) del dibujo. Las micrografías de los ejemplos a partir del nodo 3 (cercano a la compuerta) para aleaciones AM60, AM40, AE63, AE44 y AE35 se muestran a continuación. En AM40 y AE63 se observan grietas calientes.

En la Fig.8 se demuestra que AE44 y AE35 son menos susceptibles a la rasgadura en caliente que las aleaciones AM. Esto se explica mediante la solidificación bastante rápida de la capa de superficie resultante en la estructura de granos relativamente finos como se describió anteriormente.

En parte debido a la estructura de grano fino y en parte debido a la ausencia de la fase Mg₁₇Al₁₂ frágil esta capa se vuelve muy dúctil y, por lo tanto, es capaz de deformarse cuando ocurren deformaciones térmicas durante la solidificación. Una capa de superficie con granos más gruesos, como aparecería típicamente en aleaciones con intervalos de solidificación más grandes, y/o una capa rica en Mg₁₇Al₁₂ tendrá una ductilidad mucho menor y tendería a agrietarse y formar rasgaduras calientes en vez de deformarse.

La evaluación de las partes grandes (~1,5m) de pared delgada (~3mm de grosor) ha mostrado que las características de relleno del troquel de AE44 y AE35 son excelentes, y dado que la alimentación de rango largo no es necesaria para las partes de pared delgadas como se describió anteriormente, se espera que esta aleación sea una alternativa viable para estos tipos de componentes, en donde el relleno del troquel es de primordial importancia.

Las propiedades de varias aleaciones AE se explican a partir de las observaciones de que el Al solo proporciona el refuerzo de solución sólida, mientras que RE se combina con Al formando fases dispersoides en las regiones de

frontera de grano. En las aleaciones AE44 y AE35, la fase dispersoide (principalmente Al_2RE) constituye una red 3D continua, que efectivamente evita la fluencia lenta que surge de la activación térmica y el deslizamiento de frontera de grano. Esto se muestra en la Fig.9 que son imágenes SEM-BEC (composición electrónica de retrodifusión) que muestran la microestructura de fundición a presión (de izquierda a derecha) AE44, AE35 y AE63. Mientras que Al solo proporciona el refuerzo de la solución sólida, RE se combina con Al para formar fases dispersoides en las regiones de frontera de grano.

Una ampliación adicional de las imágenes SEM-BEC para AE 44 se muestra en la Fig. 10, que también muestra la estructura lamelar de las fases Al_xRE_y en AE44. Como se observa en la Fig. 10 las fases Al_xRE_y dispersoides en las aleaciones AE consisten en una estructura lamelar extremadamente fina. Esta estructura de laminillas de submicrones fortalece las fronteras de grano y, de ese modo, evita la fluencia lenta. Por otra parte, estas laminillas no son frágiles (o no tan frágiles como Mg-Al eutéctico), dado que la aleación AE44 de fundición a presión experimenta una ductilidad similar a AE42. En AE63, la red (principalmente $Al_{11}RE_3$) se vuelve fragmentada y las regiones de frontera de grano están probablemente influenciadas por una cantidad sustancial de Mg-Al eutéctico, lo que reduce las propiedades de ductilidad y de fluencia lenta. En AE42 también hay probablemente una cantidad significativa de Mg-Al eutéctico que limita las propiedades de fluencia lenta. La aleación AE35 tiene una ductilidad ligeramente menor a AE44, pero aún mayor a AE63.

A continuación, se muestran numerosos ejemplos de propiedades mecánicas que incluyen propiedades de ductilidad, resistencia a la tensión, resistencia a la fluencia lenta y corrosión de las aleaciones AE. La combinación única de resistencia a la fluencia lenta y ductilidad comparada con las aleaciones existentes se ilustra en la Fig. 11. En la Fig.11 la ductilidad (eje horizontal) se muestra con respecto a la resistencia a la fluencia lenta para un número de aleaciones de Mg conocidas. La zona 50 comprende aleaciones AM, las zonas 51 aleaciones AE, la zona 52 aleaciones AZ91 y la zona 53 otras aleaciones de alta temperatura. Las aleaciones AE de la presente invención son las únicas aleaciones de fundición a presión que combinan propiedades de ductilidad y temperatura elevada de esta manera, y, por lo tanto, ofrecen numerosas y nuevas oportunidades sin explorar para los constructores y diseñadores, sobre todo en la industria automotriz.

Un ejemplo para la aplicación industrial de AE 44 se proporciona en "Magnesium makes its engine cradle mark" de N. Li, AEI Maerial Innovations.Abril 2005, páginas 110-111, donde se describe la investigación y el desarrollo de la bancada del motor del Chevrolet Corvette Z06 de 2006 realizado de magnesio liviano.

"Magnesium and Magnesium Alloys" de Avedesian et al., mayo de 2000, páginas 66-77.Por ejemplo, en la tabla 2, en la página 67, se proporcionan propiedades mecánicas típicas de barras de prueba de fundición a presión separadas para un rango de aleaciones de magnesio como AE 42 y AZ91.

Un objetivo más particular es proporcionar a las aleaciones de magnesio-aluminio-tierras raras de fundición a presión de relativamente bajo costo una fundibilidad excelente, buena resistencia a la fluencia lenta, resistencia de rendimiento a la tensión y retención de carga del perno, particularmente a temperaturas elevadas de al menos 150°C.

Sumario de la invención

Por lo tanto, la presente invención proporciona:

- fundición de la aleación en un troquel cuya temperatura se controla en el rango de 180-340°C,
- relleno del troquel en un tiempo que, expresado en milisegundos, es igual al producto de un número entre 5 y 500 multiplicado por el grosor de parte medio expresado en milímetros,
- mantenimiento de las presiones estáticas del metal durante la fundición entre 20-70 MPa y posterior intensificación hasta 180 MPa.

Usando la combinación de una aleación Mg-Al-RE específica con un proceso especial de fundición, los productos pudieron obtenerse con excelente resistencia a la fluencia lenta, a temperatura elevada, alta ductilidad y propiedades mecánicas y de corrosión generalmente buenas.

En general, pueden usarse ciertos metales RE como elemento de aleación, como por ejemplo Ce, La, Nd y/o Pr y mezclas de los mismos. Se prefiere, sin embargo, usar cerio en cantidades sustanciales dado que este metal proporciona las mejores propiedades mecánicas. Se agrega Mn para mejorar la resistencia a la corrosión, pero esta adición está restringida debido a la solubilidad limitada.

Preferiblemente, el contenido de aluminio está entre 2,0 y 6,00% en peso, más preferiblemente entre 2,60 y 4,50% en peso.

Si se presentan cantidades más altas de aluminio, esto puede conducir fácilmente a la formación de fases de $Mg_{17}Al_{12}$, lo que es perjudicial para las propiedades de fluencia lenta. El Al demasiado bajo es negativo para la fundibilidad.

Con respecto a los metales RE, se prefiere que el contenido de RE sea entre 3,50 y 7,00% en peso, restringiéndose el límite superior por la solubilidad de RE en el sistema Mg-Al-RE como se indica en la Fig.1.

5 Si está presente más de 3,50% de RE en peso, esto proporciona una mejora significativa de las propiedades de fluencia lenta. Más de 7,00% en peso no es práctico debido a la solubilidad restringida de los metales RE en aleaciones de magnesio-aluminio líquidas.

Asimismo, se prefiere que la relación entre RE y Al sea mayor a 0,9.

Para aplicaciones específicas, la composición de la aleación se selecciona de modo que el contenido de aluminio esté entre 3,6 y 4,5% en peso y el contenido de RE esté entre 3,6 y 4,6% en peso, con la restricción adicional de que la relación entre Re y Al sea mayor a 0,9.

10 Este tipo de aleaciones puede usarse para aplicaciones de hasta 175°C y aún exhibir excelentes propiedades de fluencia lenta y resistencia a la tensión. Además, esta aleación no muestra degradación alguna de sus propiedades debido a la maduración y tiene una buena fundibilidad.

Para aplicaciones por encima de 175°C la composición de la aleación es tal que el contenido de aluminio está entre 2,6 y 3,5% en peso y el contenido de RE es mayor a 4,6% en peso.

15 Además de las excelentes propiedades de fluencia lenta y resistencia a la tensión, esta aleación no muestra degradación alguna de las propiedades debido a la maduración.

Preferiblemente, los metales RE se seleccionan del grupo de cerio, lantano, neodimio y praseodimio.

Los metales RE contribuyen a la facilidad de aleación, pero también aumentan la resistencia a la corrosión y a la fluencia lenta, y mejoran las propiedades mecánicas.

20 Preferiblemente, la cantidad de lantano es de al menos 15% en peso y más preferiblemente al menos 20% en peso del contenido total de los metales RE. Preferiblemente, la cantidad de lantano es menor a 35% en peso del contenido total de los metales RE.

25 Preferiblemente, la cantidad de neodimio es de al menos 7% en peso y más preferiblemente al menos 10% en peso del contenido total de los metales RE. Preferiblemente, la cantidad de neodimio es menor a 20% en peso del contenido total de los metales RE.

Preferiblemente, la cantidad de praseodimio es de al menos 2% en peso y más preferiblemente al menos 4% en peso del contenido total de los metales RE. Preferiblemente, la cantidad de praseodimio es menor a 10% en peso del contenido total de los metales RE.

30 Preferiblemente, la cantidad de cerio es mayor a 50% en peso del contenido total de los metales RE, preferiblemente entre 50 y 55% en peso.

Se sabe que el calcio y el estroncio proporcionan un aumento en la resistencia a la fluencia lenta, y la adición de al menos 0,5% en peso de calcio mejorará la resistencia a la tensión. Sin embargo, el Ca y el Sr deberían evitarse porque, aun en concentraciones muy pequeñas, estos elementos provocan considerables problemas de adherencia y, de ese modo, influyen en la fundibilidad de la aleación.

35 La presente invención se describe en más detalle con referencia a los siguientes ejemplos, que solo tienen fines ilustrativos y no se entenderá que indican o implican limitación alguna en la amplia invención descrita en la presente.

Ejemplo 1

Para establecer la influencia de los elementos de aleación, se preparó un número de aleaciones de Mg con las composiciones según se muestra en la tabla 1.

40 De cada propósito de aleación se realizó un número de barras testigo para llevar a cabo la prueba descrita en los siguientes ejemplos. Las pruebas llevadas a cabo son las siguientes:

Resistencia a la tracción y ductilidad

Se realizaron barras testigo de 6 mm de acuerdo con ASTM, y las siguientes

Condiciones de prueba se usaron:

- 45
- máquina 10 kN Instron
 - Temperatura ambiente hasta 210 °C
 - Al menos 5 paralelos a cada temperatura

- Tasa de deformación
- 1,5 mm/min hasta 0,5% de deformación
- 10 mm/min por encima de 0,5% de deformación
- Prueba de acuerdo con ISO 6892

5 Prueba de fluencia lenta a tracción

Para esta prueba se usó el siguiente material de prueba:

- Diámetro: 6 mm
 - Longitud del calibrador: 32,8 mm
 - Radio de la curvatura: 9 mm
- 10 • Diámetro del cabezal de agarre: 12 mm
- Longitud total: 125 mm

La prueba se realiza de acuerdo con ASTM E 139

Prueba de relajación de esfuerzos

- Material de prueba
- 15 - 12 mm de diámetro, 6 mm de longitud
- Cortado del extremo arbitrario de barras de fluencia lenta
 - Prueba de acuerdo con ASTM E328-86

Propiedades de corrosión

La corrosión se evalúa de acuerdo con ASTM 117.

20 Ejemplo 2

Para un número de composiciones la resistencia se midió como una función de la temperatura.

Los resultados se muestran en las Figuras 12, 13 y 14. En estas figuras, el eje y representa la resistencia a la tensión expresada en MPa, mientras que el eje x representa la temperatura expresada en grados Celsius.

Ejemplo 3

25 Para ciertas composiciones, la fluencia lenta se midió como una función del tiempo.

Los resultados se muestran en las Figuras 15 y 16. En la fig. 15 la medida se realiza a 175°C con una fuerza de 40 MPa, y en la fig. 16 la medida se realiza a 150°C con fuerzas de 90 MPa.

En estas figuras el eje y representa el esfuerzo de fluencia lenta expresado en porcentaje, mientras que el eje x representa el tiempo expresado en horas.

30 Ejemplo 4

Para un número de composiciones de acuerdo con la tabla 1 la relajación del estrés ha sido definida, expresada como la carga restante con respecto al tiempo. Los resultados se muestran en las Figuras 17, 18 y 19.

En estas figuras el eje y representa la carga restante expresada en porcentaje de la carga inicial, mientras que el eje x representa el tiempo expresado en horas.

35 Ejemplo 5

Para un número de composiciones las propiedades de corrosión han sido definidas de acuerdo con ASTM B117. En esta prueba se ha incorporado una gran cantidad de datos de modo de definir la influencia del contenido de RE con respecto al contenido de Al. Los resultados se muestran en la Fig. 20.

40 En esta figura el eje y representa el contenido de RE expresado en % en peso, mientras que el eje x representa el contenido de Al también expresado en % en peso.

ES 2 379 806 T3

Las líneas fronterizas entre las zonas con diferentes matices representan líneas de resistencias de igual corrosión.

A partir de estos resultados, es claro que se ha proporcionado un proceso para fundir una aleación de magnesio en el que los productos se obtienen con una combinación superior de propiedades de fluencia lenta de temperatura elevada, ductilidad y rendimiento de corrosión.

5 Tabla I

Tipo de aleación	% en peso Al	% en peso Mn	% en peso Zn	% en peso Si	% en peso Ce	% en peso La	% en peso Nd	% en peso Pr	% en peso RE	Ce/RE	La/RE	Nd/RE	Pr/RE
AZ91D	8,93	0,17	0,73										
AS21B	2,11	0,08		1,01					0,09				
AE35-24	3,23	0,29			2,49	1,73	0,94	0,28	5,44	45,77	31,80	17,28	5,15
AE42-15	3,89	0,15			1,31	0,79	0,37	0,16	2,64	49,85	30,08	14,15	5,92
AE44-24	4,12	0,29			2,11	1,53	0,75	0,23	4,62	45,67	33,12	16,23	4,98
AE63-4	6,31	0,18			1,42	1,35	0,40	0,13	3,30	43,03	40,91	12,12	3,94
ACe44	3,70				3,90				3,90	100,00			
ANd44	3,90						2,50		2,50			100,00	
ALa44	3,70	0,38				3,00			3,00		100,00		
ALaCe431	3,70	0,45			0,90	2,30			3,20	28,10	71,90		
ALaCe413	4,00	0,28			2,40	0,90			3,30	72,70	27,30		
ALaNd431	3,90	0,46				2,60	0,80		3,40		76,50	23,50	
ALaNd413	3,70	0,42				1,10	1,60		2,70		40,70	59,30	
ACeNd431	4,70	0,27			2,60		0,80		3,40	76,50		23,50	
ACeNd413	4,40	0,32			0,90		1,00		1,90	47,40		52,60	
ACeNd422	3,60				1,50		1,50		3,00	50,00		50,00	

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para fundir una aleación de magnesio que consiste en
 - 2,0 - 6,00% en peso de aluminio,
 - 3,00 - 8,00% en peso de metales de tierras raras (metales RE),
- 5 siendo la relación entre la cantidad de metales RE y la cantidad de aluminio expresado como % en peso mayor a 0,8,
siendo al menos 40% en peso de los metales RE cerio,
menos de 0,5% en peso de manganeso,
menos de 1,00% en peso de zinc,
- 10 menos de 0,01% en peso de calcio,
menos de 0,01% en peso de estroncio,
y siendo el resto magnesio e impurezas inevitables, estando el nivel de impureza total por debajo de 0,1% en peso,
en el que
 - la aleación se funde en un troquel cuya temperatura se controla en el rango de 180-340°C,
- 15 - el troquel se rellena en un tiempo que, expresado en milisegundos, es igual al producto de un número entre 5 y 500 multiplicado por el grosor de parte medio expresado en milímetros,
- las presiones estáticas del metal se mantienen durante la fundición entre 20-70 MPa y se intensifican posteriormente hasta 180 MPa.
- 20 2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la temperatura del troquel se controla a una temperatura en el rango de entre 200 y 270°C.
3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el tiempo de relleno del troquel expresado en milisegundos es igual al producto del grosor de parte medio expresado en milímetros multiplicado por un número entre 8 y 200, preferiblemente entre 5 y 50, más preferiblemente entre 5 y 20.
- 25 4. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la presión estática del metal durante la fundición se mantiene entre 30-70 Mpa.
5. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la tasa de enfriamiento luego de la fundición está en el rango de 10-1000°C/s.
6. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el contenido de aluminio es de entre 2,50 y 5,50% en peso, preferiblemente de entre 2,60 y 4,50% en peso.
- 30 7. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el contenido de RE es de entre 3,50 y 7,00% en peso.
8. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el contenido de aluminio es de entre 3,6 y 4,5% en peso y el contenido de RE es de entre 3,6 y 4,5% en peso, y la relación entre RE y Al es mayor a 0,9.
- 35 9. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el contenido de aluminio es de entre 2,6 y 3,5 % en peso, y el contenido de RE es mayor a 4,6% en peso.
10. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que los metales RE se seleccionan del grupo de cerio, lantano, neodimio y praseodimio.
11. El proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la cantidad de lantano es de al menos 15% en peso del contenido total de los metales RE, preferiblemente al menos 20% en peso.
- 40 12. El proceso de acuerdo con la reivindicación 10 o 11, en el que la cantidad de lantano es como máximo de 35% en peso del contenido total de los metales RE.
13. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en el que la cantidad de neodimio es de al menos 7% en peso del contenido total de los metales RE, preferiblemente de al menos 10% en peso.

ES 2 379 806 T3

14. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-13, en el que la cantidad de neodimio es como máximo de 20 % en peso del contenido total de los metales RE.
15. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-14, en el que la cantidad de praseodimio es de al menos 2% en peso del contenido total de los metales R-, preferiblemente al menos 4% en peso.
- 5 16. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-15, en el que la cantidad de praseodimio es como máximo de 10% en peso del contenido total de los metales RE.
17. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-16, en el que la cantidad de cerio es mayor a 50% en peso del contenido total de los metales RE, preferiblemente entre 50 y 55% en peso.
- 10 18. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-17, en el que la cantidad de calcio y/o estroncio es menor a 0,01% en peso.

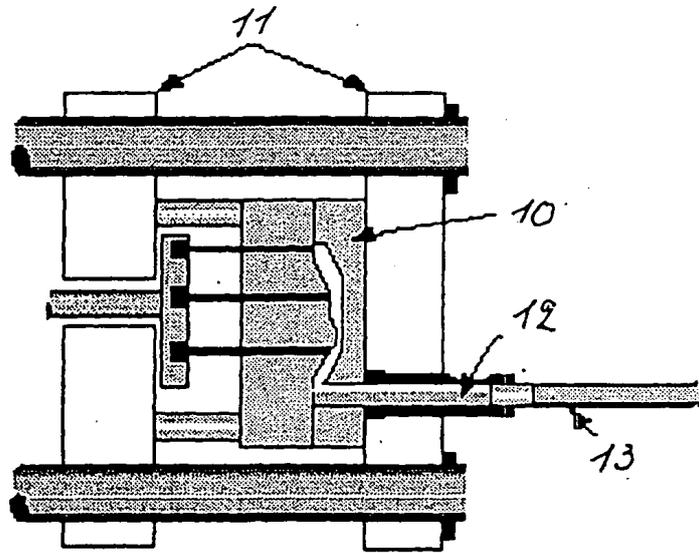


Fig. 1A

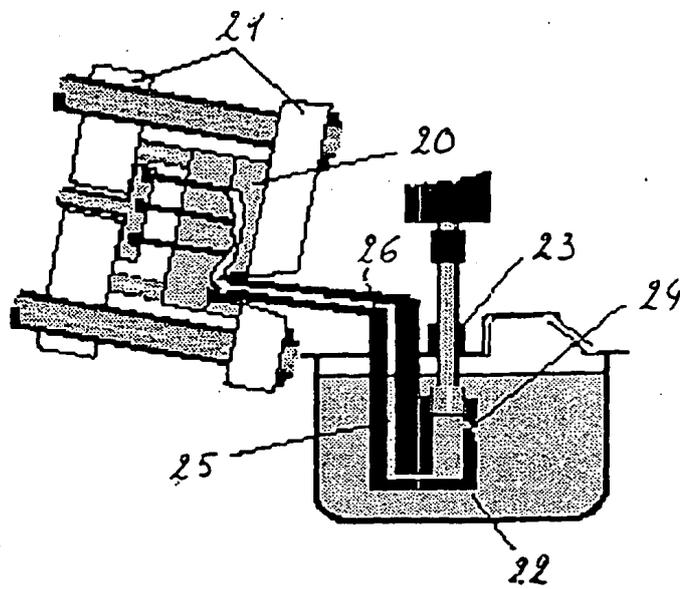


Fig. 1B

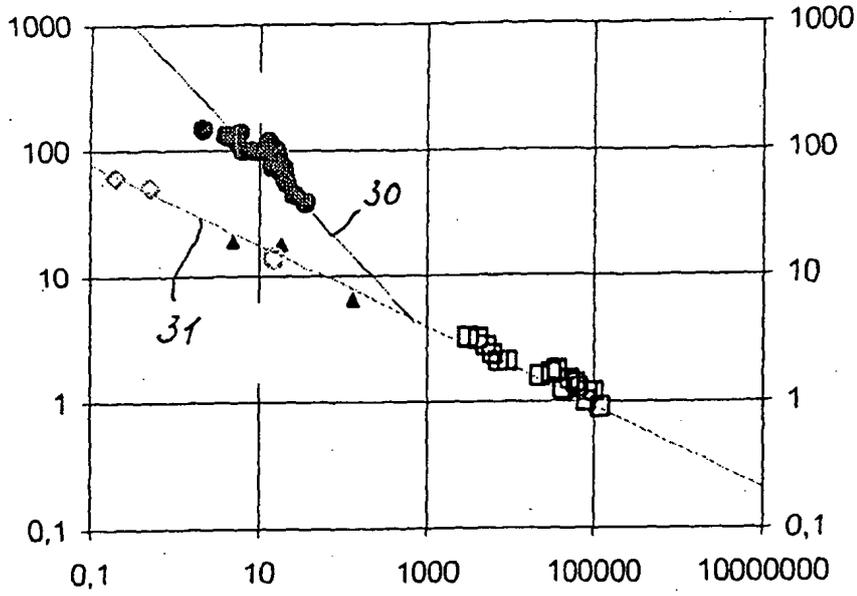


Fig. 2

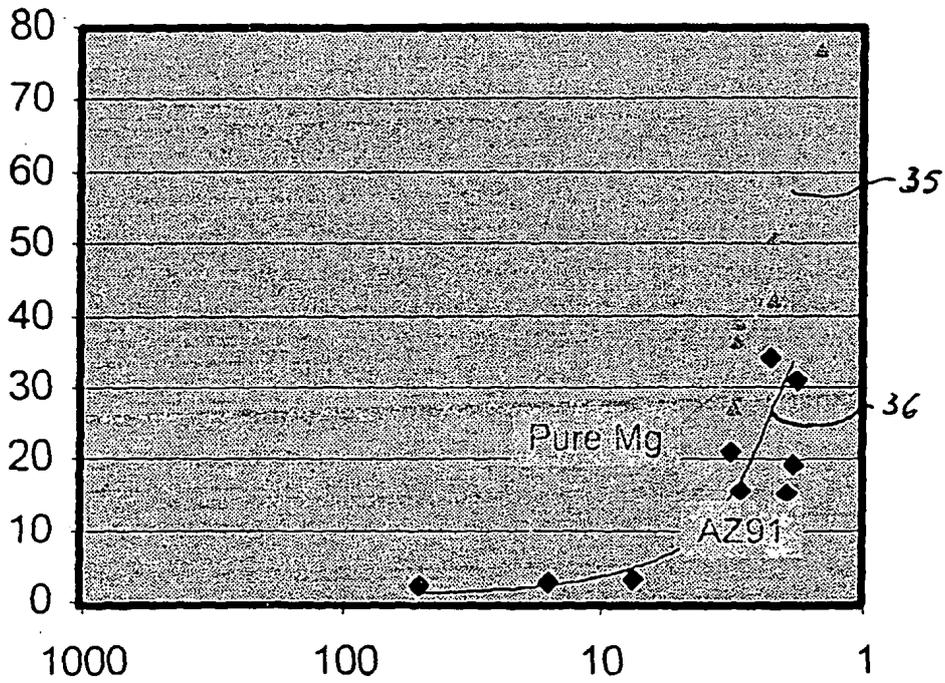


Fig. 3

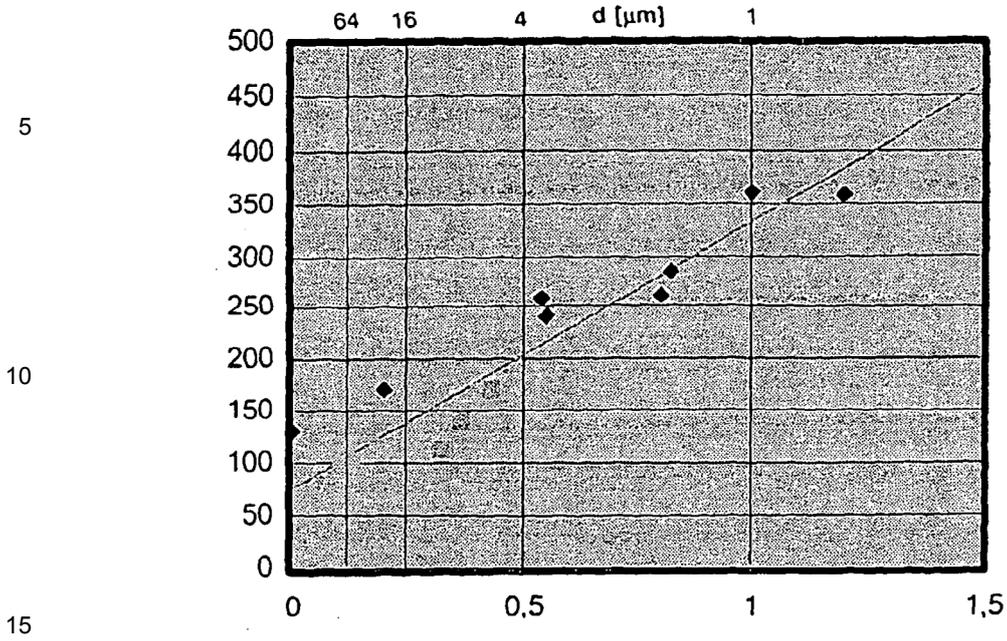


Fig. 4

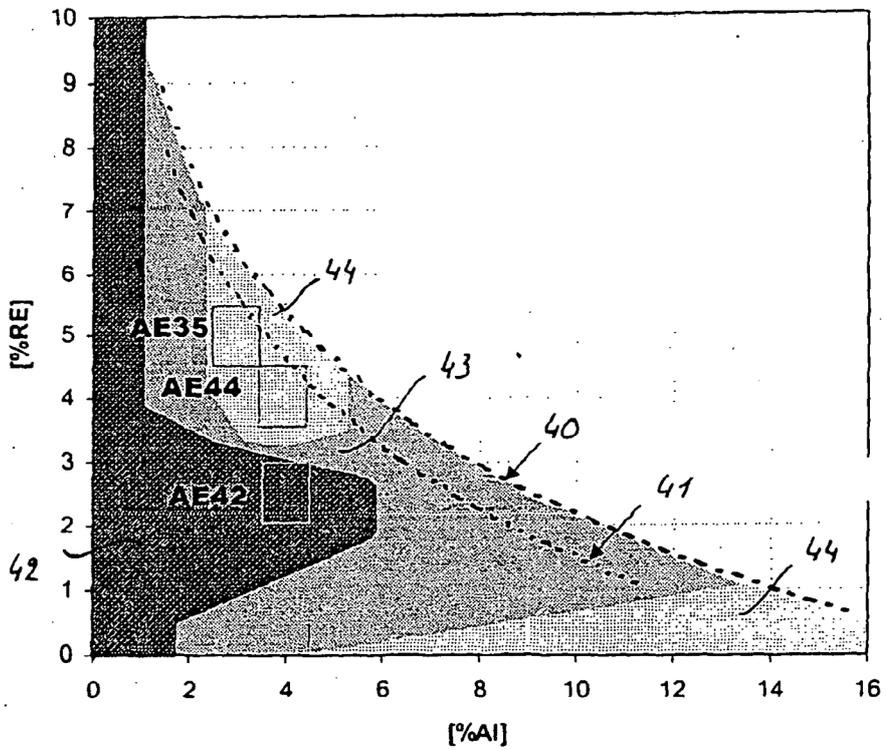


Fig. 5

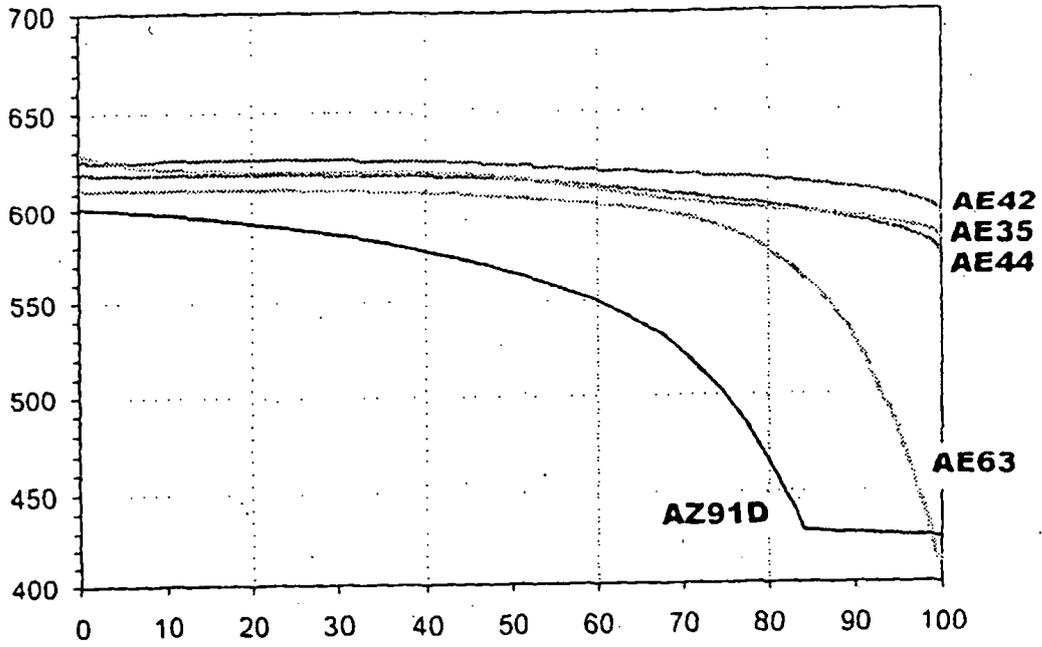


Fig. 6

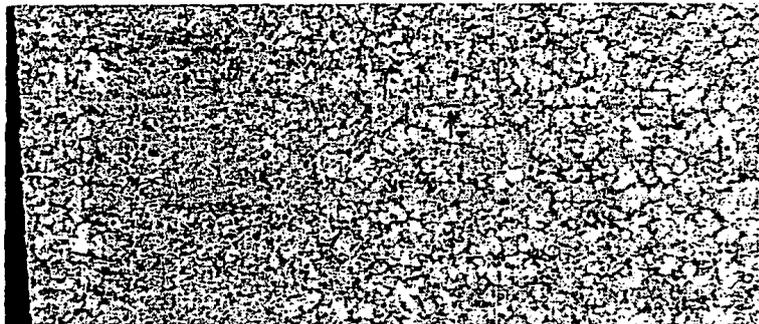


Fig. 7

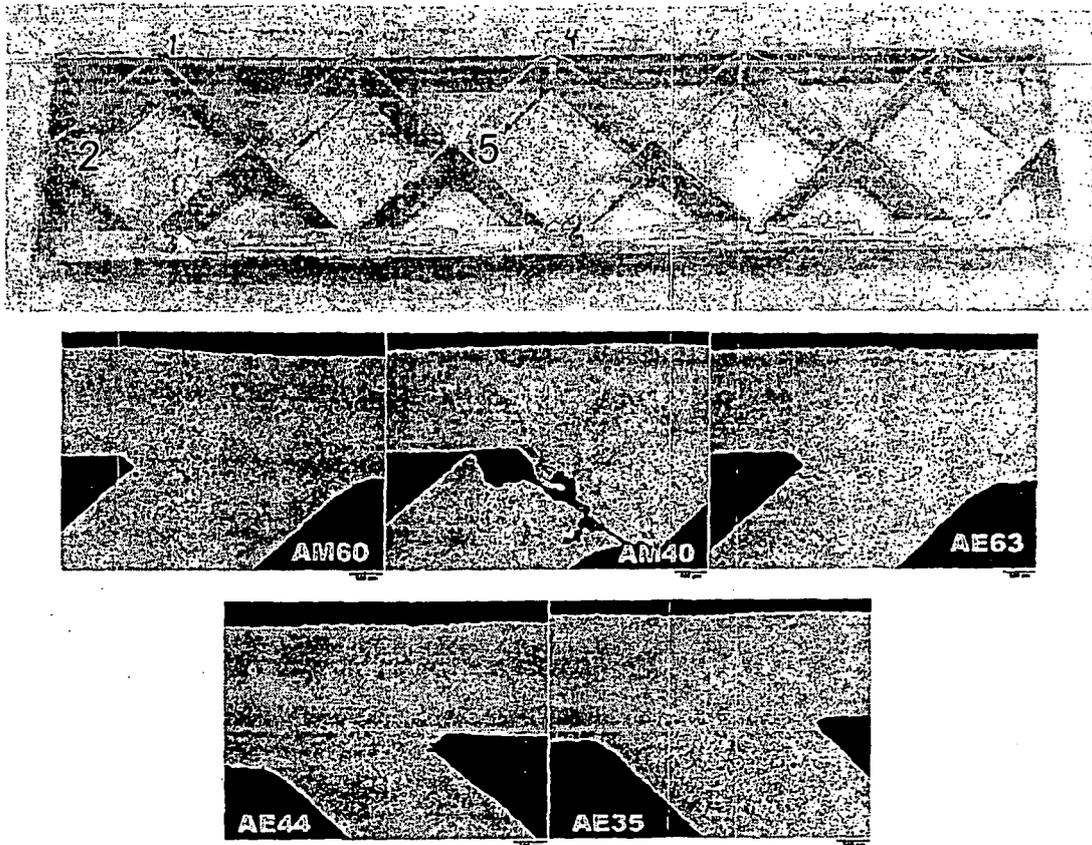


Fig. 8

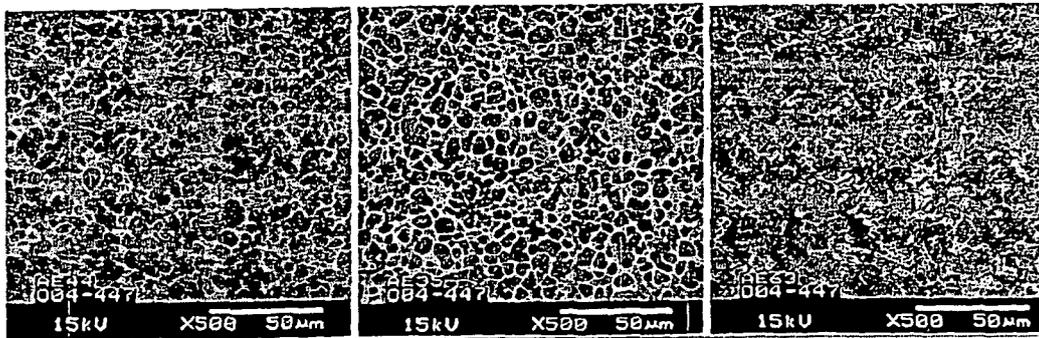


Fig. 9

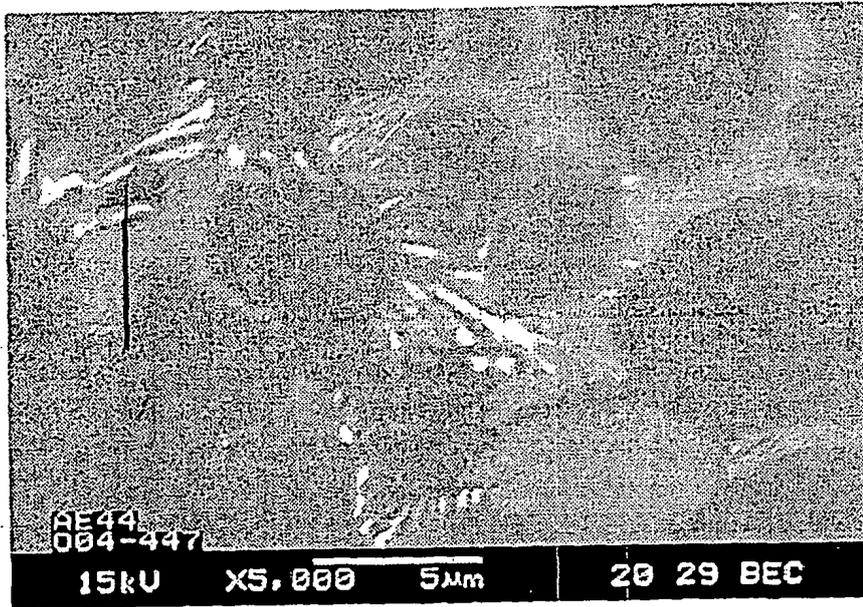


Fig. 10

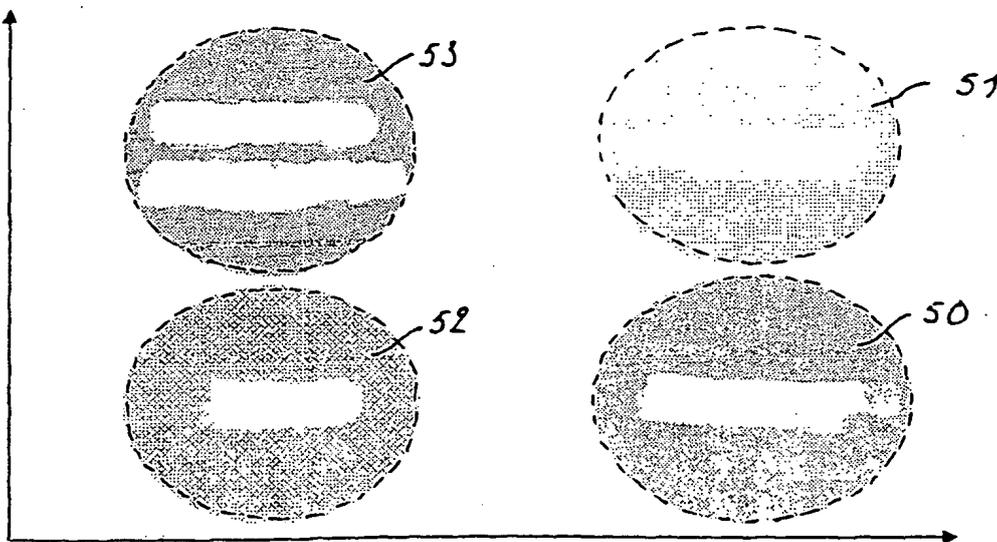


Fig. 11

Fig. 12

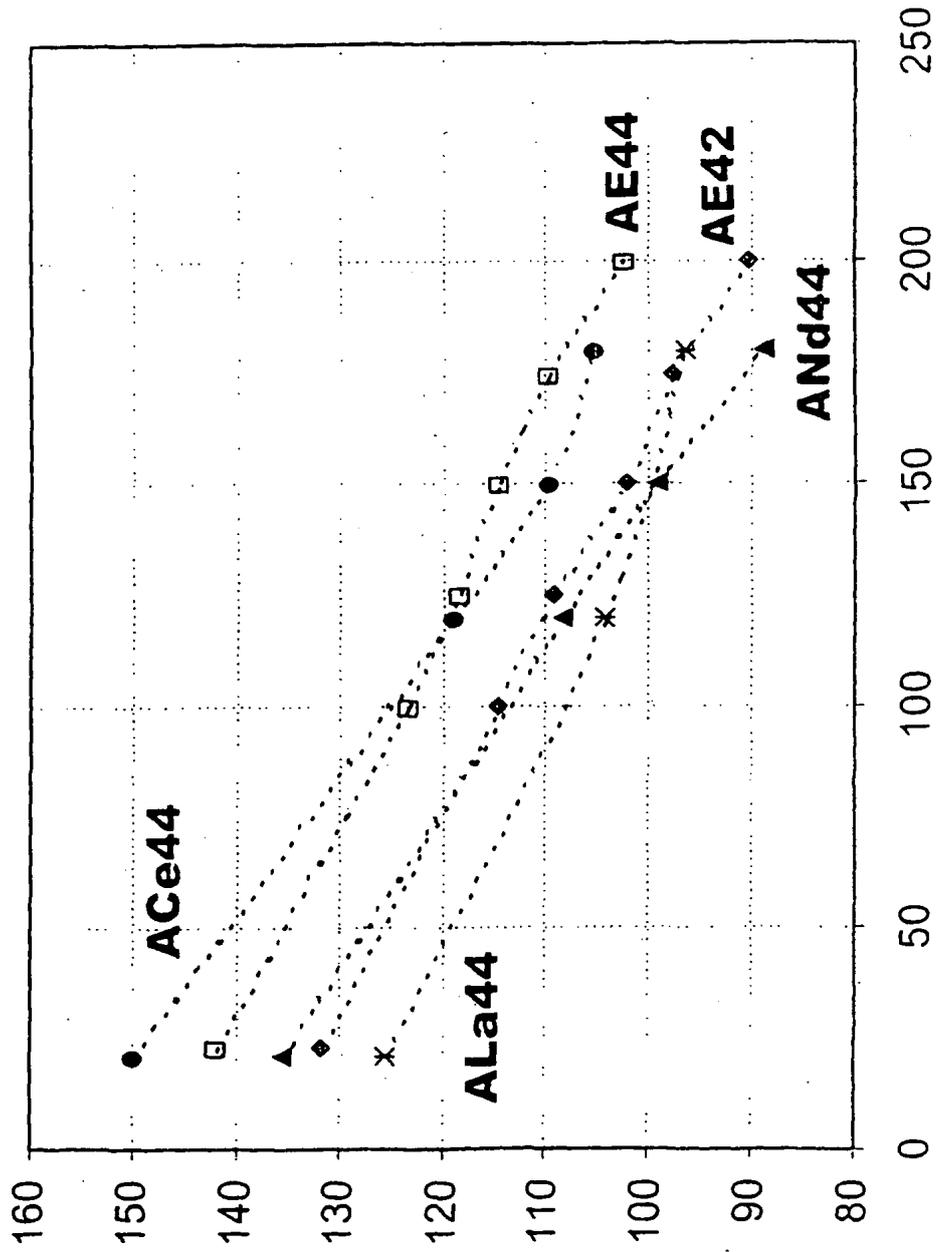


Fig. 13

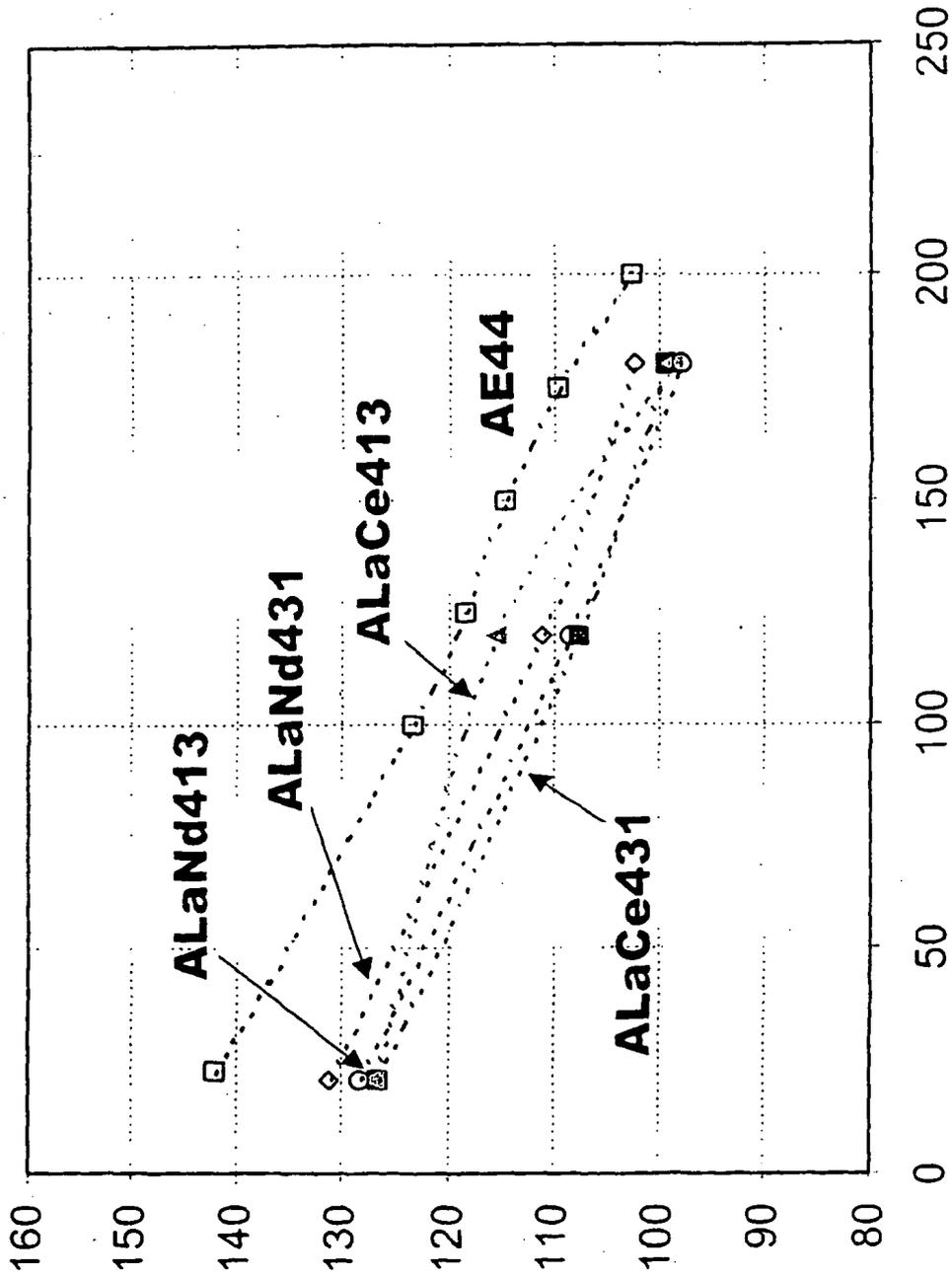


Fig. 14

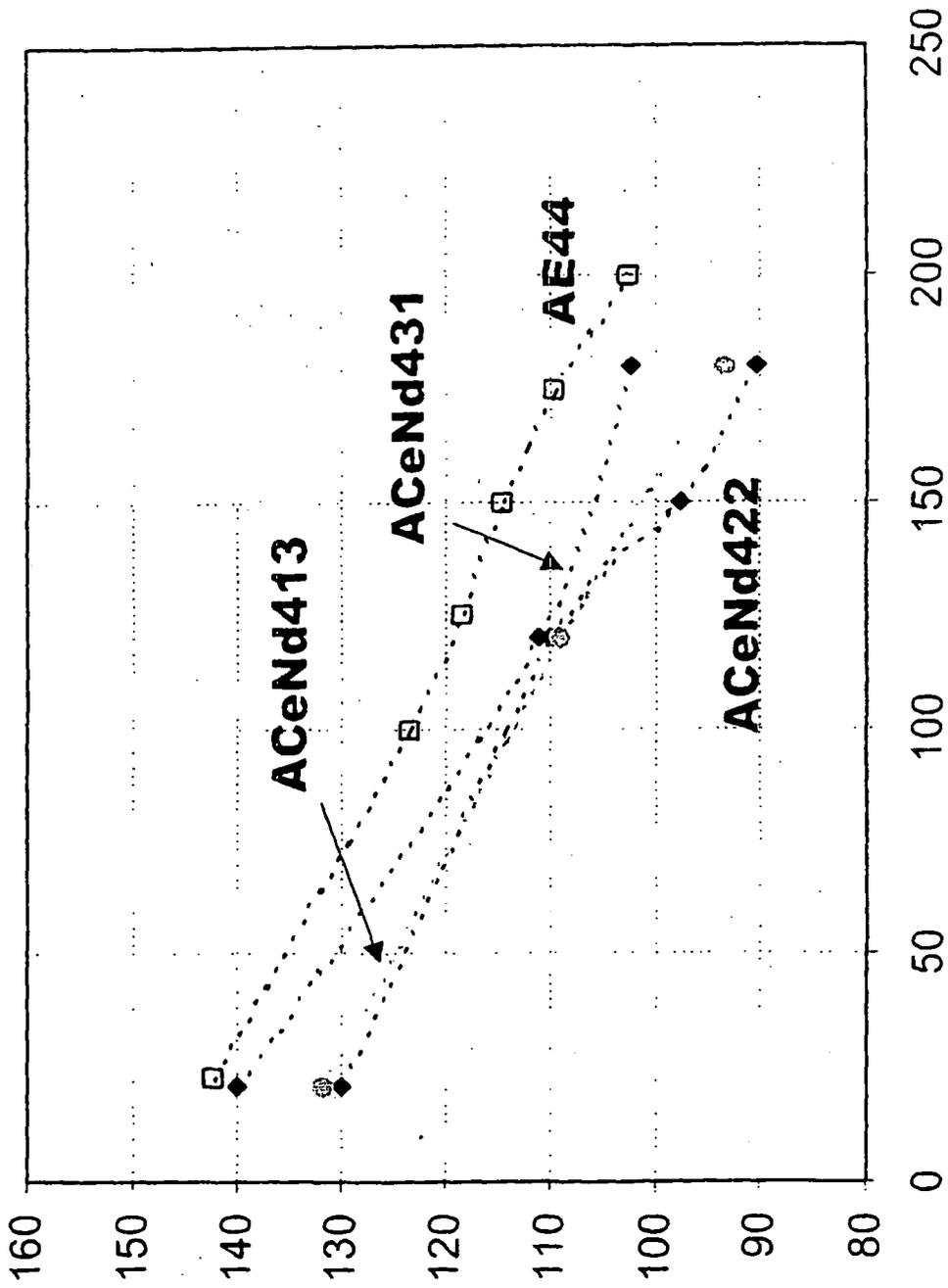


Fig. 15

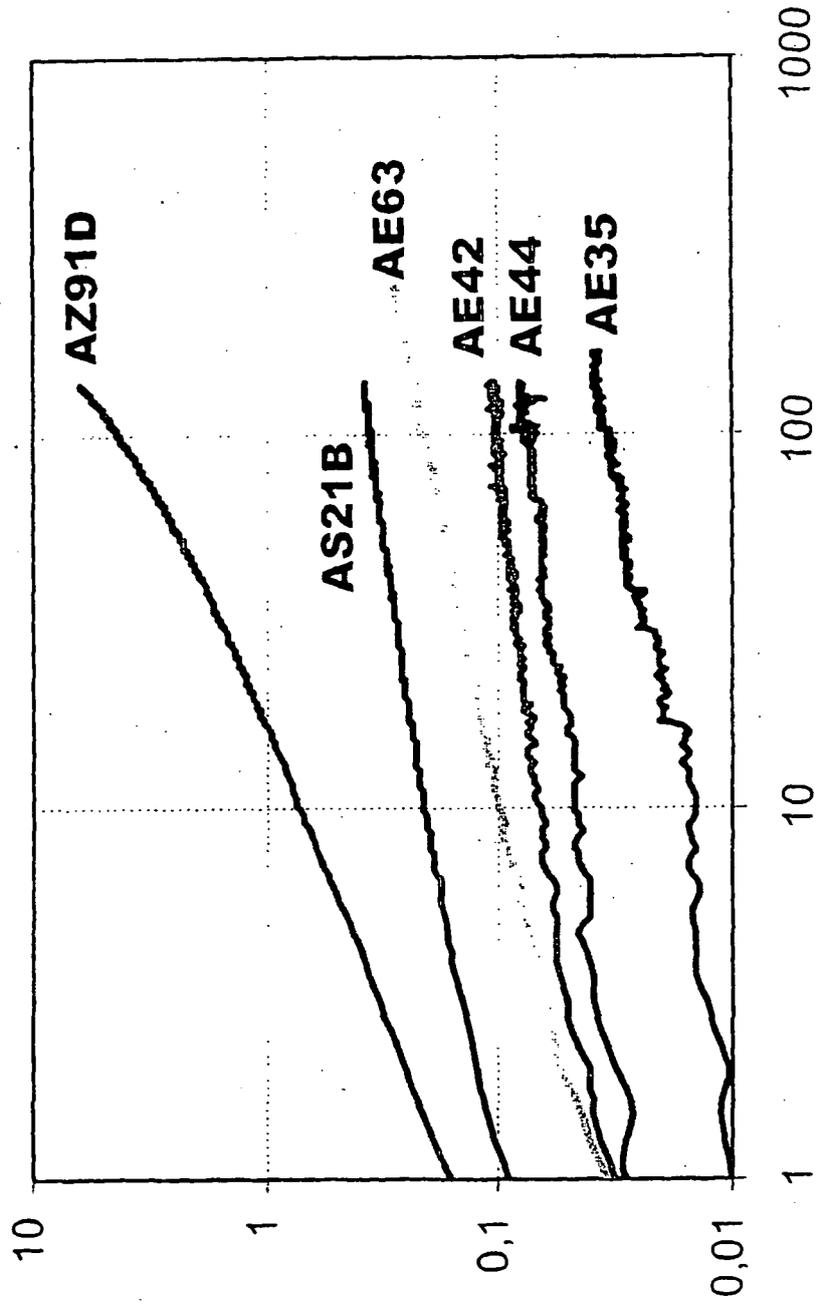


Fig. 16

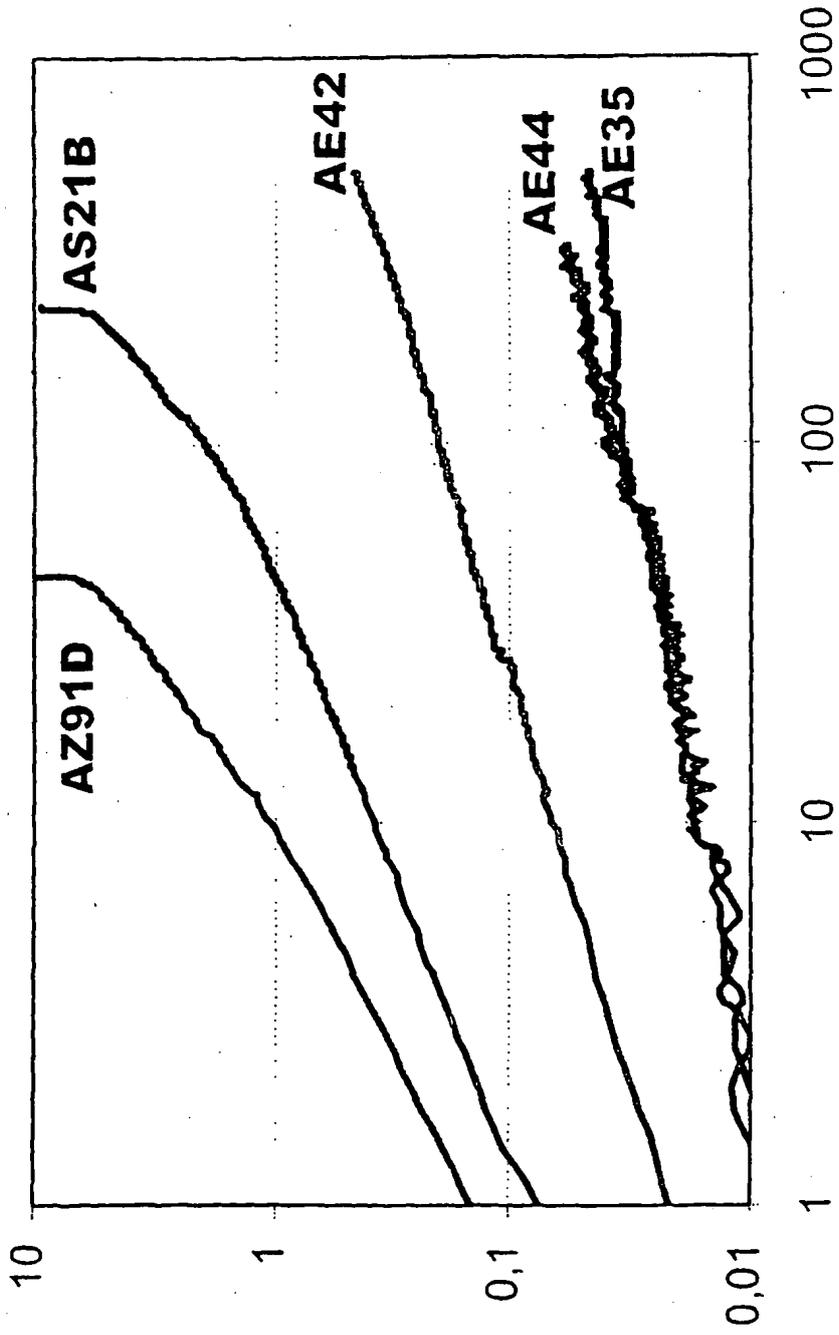


Fig. 17

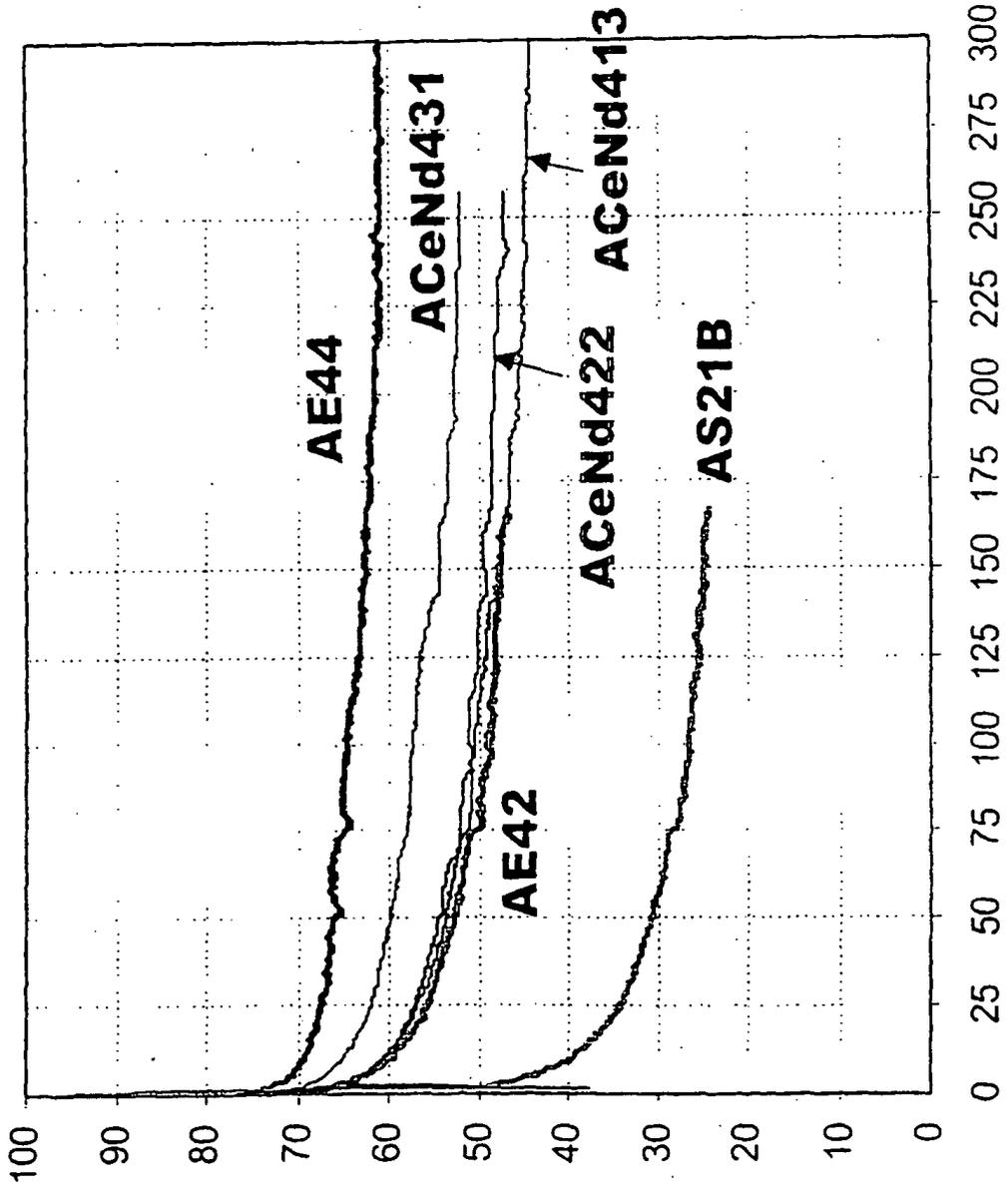
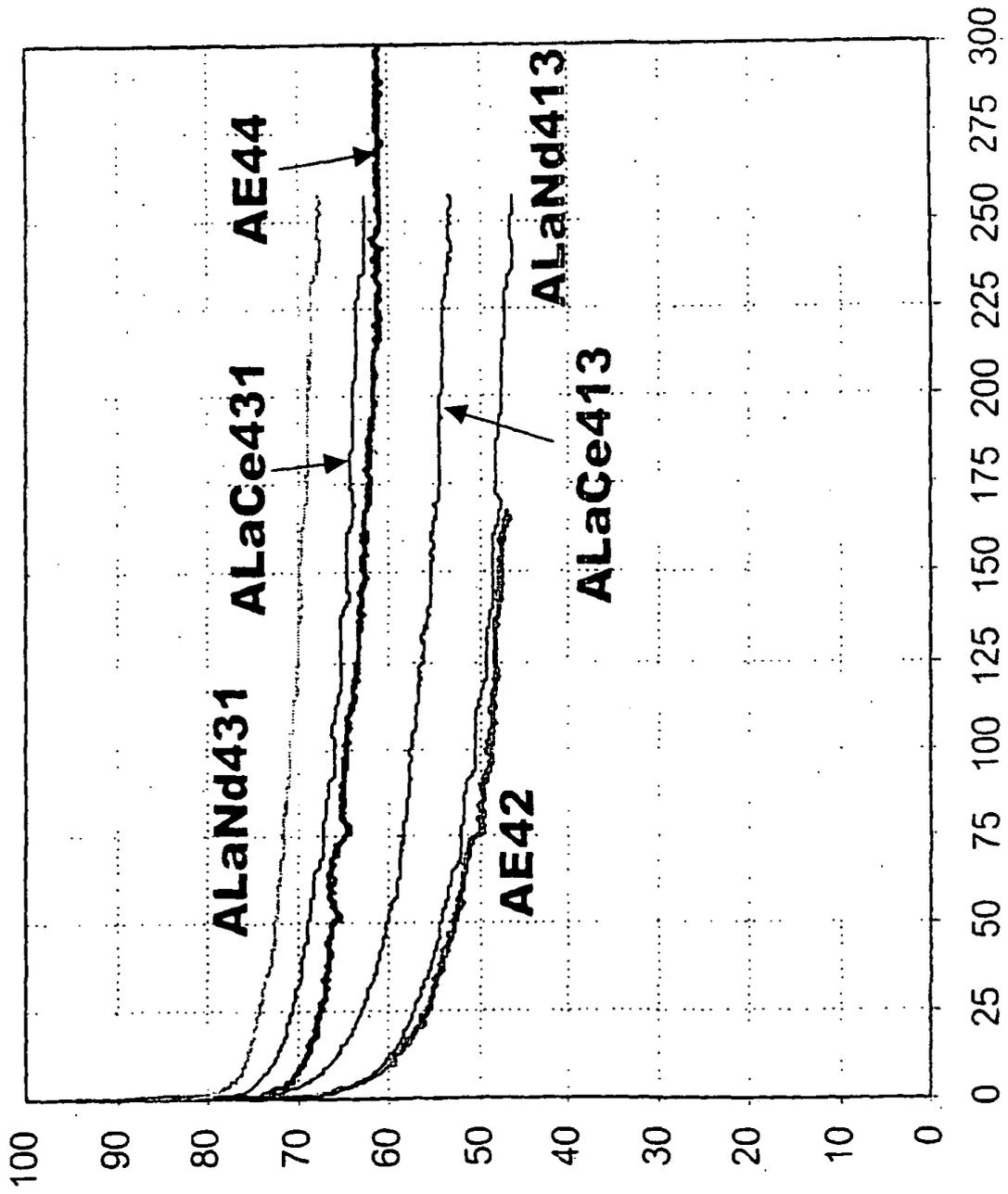


Fig. 18



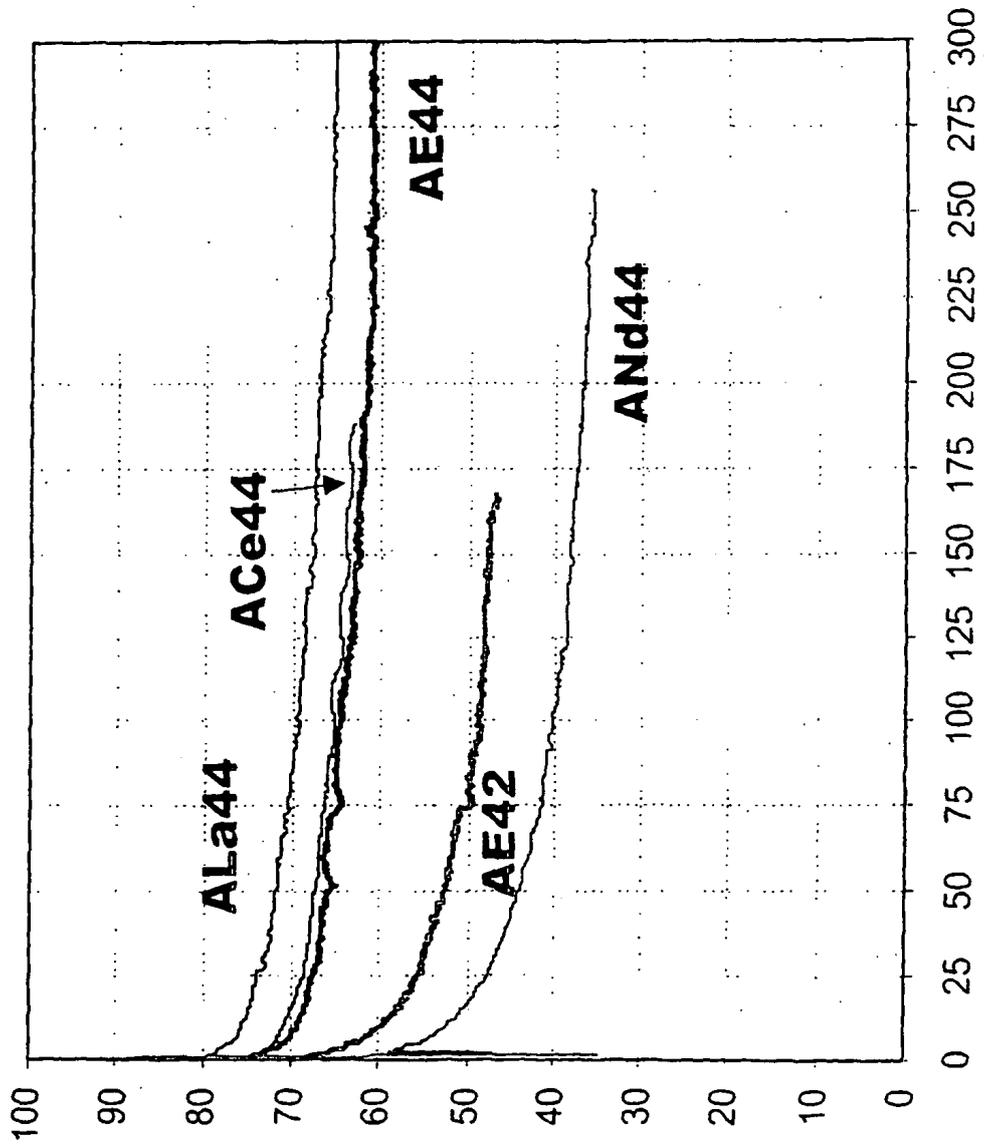


Fig. 19

