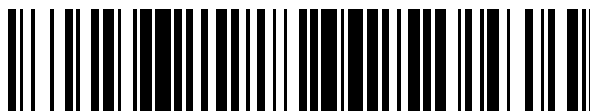


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 709 894**

51 Int. Cl.:

C22C 21/02 (2006.01)

C22C 21/08 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

C22C 21/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2006 E 06123946 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 1785499**

54 Título: **Componente absorbente de energía**

30 Prioridad:

16.12.2005 DE 102005060297

14.11.2005 DE 102005054588

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

22.04.2019

73 Titular/es:

OTTO FUCHS KG (100.0%)

Derschlager Strasse 26

58540 Meinerzhagen, DE

72 Inventor/es:

BECKER, JOACHIM, DR.;

HILPERT, MATHIAS, DR.-ING. y

TERLINDE, GREGOR, DR.-ING.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 709 894 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

Componente absorbente de energía

La invención se refiere a un componente absorbente de energía para absorber energía cinética por deformación, con formación de una estructura similar a un fuelle, al menos por secciones, fabricado de una aleación de aluminio del tipo Al-Mg-Si.

Los componentes absorbentes de energía se utilizan en vehículos, por ejemplo en vehículos a motor, para absorber energía cinética en caso de un impacto, por ejemplo a causa de un accidente, por ejemplo como soportes de parachoques, como partes de bastidor (por ejemplo, la carrocería) o similares. Estos componentes son típicamente componentes perfilados. Para una absorción de energía óptima en caso de un impacto, se requiere que tales componentes absorbentes de energía se deformen plásticamente, en la mayor medida posible sin agrietamiento. Se prefiere una configuración en la cual, en caso de un impacto, tal perfil se aplaste como un fuelle, en su totalidad o al menos por secciones. Por esta razón, el material del que están fabricados dichos componentes debe presentar una capacidad de deformación relativamente elevada. Cuando se emplea uno de estos componentes absorbentes de energía en una construcción de bastidor o como soporte de otra clase, por ejemplo en un chasis, dicho componente está sujeto además a elevadas exigencias en cuanto a resistencia estática (límite elástico/resistencia a la tracción).

Típicamente, estos componentes se construyen a partir de aleaciones de aluminio del tipo Al-Mg-Si de la serie 6000 según la clasificación de la Aluminum Association. Tales aleaciones se describen, por ejemplo, en los documentos EP 0 902 842 B1, EP 0 936 278 B1, US 2001/0037844 A1, EP 0 805 219 B1 o JP2003183757. En los documentos JP 2001234271 A, WO 99/07906 y WO 97/39156 se describen aleaciones para otros fines. Los componentes absorbentes de energía se fabrican generalmente mediante prensado por extrusión. Por lo tanto, además de las propiedades de ductilidad y resistencia antes mencionadas de los productos semielaborados producidos con las mismas, las aleaciones utilizadas deben presentar una buena aptitud para el prensado por extrusión. Para satisfacer estos requisitos, las aleaciones anteriormente conocidas y los procedimientos para fabricar un componente de este tipo idóneo frente al impacto están orientados a crear una microestructura de recristalización de grano fino en el componente.

Con las aleaciones anteriormente conocidas se pueden fabricar mediante prensado por extrusión perfiles para colisión destinados a producir componentes absorbentes de energía (elementos de colisión) que cumplan los requisitos habituales de, por un lado, deformación plástica y, por otro, de resistencia estática. Sin embargo, los requisitos en cuanto a resistencia estática de tales componentes son cada vez más altos. En consecuencia, un cambio en la composición de la aleación mediante el incremento de aquellos elementos que típicamente influyen en la resistencia, y una adaptación correspondiente del procedimiento de fabricación para producir un componente de este tipo conduce a componentes con mayores resistencias estáticas. Sin embargo, estos componentes ya no satisfacen los requisitos establecidos respecto a la deformación plástica. Para empeorar las cosas, se ha demostrado que el comportamiento en caso de colisión de tales componentes, constituidos por una aleación descrita en los documentos antes mencionados y con los intervalos de proporción allí indicados en cada caso para los elementos participantes en la aleación, es distinto de lo que inicialmente se podía presuponer. Por lo tanto, el que un componente absorbente de energía fabricado a partir de una de las aleaciones anteriormente conocidas exhiba o no el deseado comportamiento en la colisión, solo se puede determinar después de realizar un ensayo de aplastamiento.

Habitualmente, se considera a menudo la ductilidad del material con el que se fabrica un componente absorbente de energía como una medida del comportamiento en caso de colisión de dicho componente. Las aleaciones de aluminio contienen típicamente un cierto contenido de Fe, por medio del cual se mide el grado de pureza del aluminio utilizado para fundir la aleación. Cuanto más puro es el aluminio utilizado para producir la aleación, más caro es dicho aluminio. Por lo tanto, por razones de coste se utiliza para la fabricación de componentes absorbentes de energía aluminio que tiene un cierto contenido de hierro. Es conocido en el estado de la técnica que con contenidos de hierro de hasta 0,40% en peso en las aleaciones de aluminio en cuestión, un componente absorbente de energía fabricado a partir de las mismas tiene una ductilidad que satisface los requisitos. En consecuencia, el comportamiento en caso de colisión de un componente de colisión fabricado de una aleación con contenidos de Fe relativamente altos también tendría que mostrar un comportamiento de colisión que cumpliera suficientemente los requisitos. Sin embargo, se ha demostrado que esto no es así, y por lo tanto la relación descrita en el estado de la técnica entre la ductilidad de un material y el comportamiento en caso de colisión de un elemento absorbente de energía no es cierta, o al menos no siempre lo es. Con estos antecedentes, una afirmación en cuanto a la idoneidad frente al impacto de un material destinado a conformar un componente absorbente de energía solo se puede emitir por regla general después de realizar ensayos de aplastamiento.

Si un componente absorbente de energía no satisface los requisitos relativos al comportamiento de colisión, se procede a modificar la composición de la aleación y/o los parámetros del procedimiento para fabricar el componente. Sin embargo, la comprobación de si con dicha modificación también se ha modificado efectivamente el comportamiento de colisión solamente se puede efectuar mediante un nuevo ensayo de aplastamiento. Por lo tanto, queda claro que controlar de esta manera una producción en curso, en cuanto al cumplimiento de los requisitos deseados respecto al comportamiento de colisión, resulta demasiado costoso para que estos estudios se realicen de

manera minuciosa.

5 Partiendo del estado de la técnica que se ha discutido, la invención se basa, por lo tanto, en la misión de desarrollar un componente absorbente de energía del tipo mencionado al principio de manera que no solo satisfaga mayores y/o máximos requisitos de resistencia, sino que también se puedan emitir afirmaciones acerca de su idoneidad frente al impacto sin necesidad de realizar obligatoriamente ensayos de aplastamiento y, por lo tanto, también se simplifique el control de calidad en un proceso de fabricación en curso para producir tales componentes.

Esta misión se logra, de acuerdo con la invención, mediante un componente absorbente de energía que tiene las características de la reivindicación 1.

10 En este componente absorbente de energía se cuida, mediante el ajuste de la aleación y mediante un procedimiento correspondiente para fabricar el componente, en particular el producto semielaborado, de que el tamaño del grano que se extiende perpendicularmente a la superficie del componente, al que en el contexto de estas realizaciones se le denomina tamaño efectivo de grano, no exceda un determinado tamaño, en concreto 100 μm . En un sistema de coordenadas en el que L representa la dirección longitudinal del componente (en un producto prensado por extrusión, la dirección de prensado), LT representa la anchura y ST representa el grosor o la dirección que discurre perpendicularmente a la superficie del componente, el tamaño efectivo de grano se mide en la dirección ST , por ejemplo en un corte que sigue el plano $L-ST$. En los datos de tamaño efectivo de grano mencionados en lo que antecede y en lo que sigue, se supone que el requisito respectivo para la sección transversal en su conjunto, aparte de las zonas superficiales posiblemente recristalizadas y las fracciones residuales recristalizadas, es $\leq 20\%$ en volumen en la zona restante. Este dato se determina de acuerdo con la norma ASTM 112. Preferiblemente, este dato se refiere a más de 90% de los granos. Contrariamente a lo que habitualmente se entiende en cuanto al tamaño de grano necesario y la microestructura que debería tener un componente de colisión para satisfacer los requisitos, esta solución considera en primer lugar solamente un determinado tamaño de grano: el tamaño efectivo de grano. Se ha demostrado que con esta medida, a pesar de los ajustes de la aleación y del procedimiento de fabricación del componente con el fin de satisfacer esta mayor o máxima resistencia estática, se proporciona un comportamiento de aplastamiento que corresponde a los requisitos. Se prefiere que el tamaño efectivo de grano sea menor que 30 μm , y en particular menor que 20 μm o incluso menor que 10 μm .

30 Resulta particularmente ventajoso en la solución antes mencionada el hecho de que se puedan fabricar mediante procedimientos convencionales, sin mucho coste, tales componentes. Esto es posible en el prensado por extrusión, por ejemplo, aprovechando el efecto de prensado que se origina durante el proceso de prensado. Durante el prensado por extrusión se estiran en la dirección de prensado los granos originalmente presentes, lo que trae consigo una reducción del tamaño del grano en dirección perpendicular a la superficie del perfil (en la dirección ST). El tamaño efectivo de grano se ajusta aprovechando el efecto de prensado durante el prensado por extrusión, en concreto esencialmente por medio del grado de deformación. Se ha encontrado que, para lograr un comportamiento de colisión que satisfaga los requisitos, no resulta decisivo el tamaño absoluto del grano, sino el que se extiende perpendicularmente a la superficie del perfil del componente de colisión.

40 Por lo que se refiere a la microestructura del componente absorbente de energía reivindicado, con su dimensión máxima de grano en la dimensión longitudinal del componente absorbente de energía, resulta sorprendente que tal componente presente la buena idoneidad frente al impacto observada y la formación de pliegues a modo de fuelle asociada a la misma en caso de aplastamiento, sin que se observe formación de grietas en las crestas de los pliegues de aplastamiento. Este resultado es inesperado, ya que la formación de los pliegues discurre transversalmente a la dimensión longitudinal del componente absorbente de energía y, por lo tanto, en dirección transversal al eje mayor de los granos. Especialmente en el caso de granos longitudinalmente elongados, que son apropiados para el componente absorbente de energía conforme a la invención, se habría sospechado que una formación de pliegues como la antes descrita, en dirección transversal al eje mayor del grano, conduciría a la destrucción de la conexión entre los granos o del grano mismo.

45 El componente absorbente de energía presenta una microestructura que se caracteriza por la presencia de un solo tipo de fases de precipitación. Al menos el 40% de las partículas que forman la fase de precipitación son parcialmente coherentes o incoherentes, y normalmente las partículas deberían ser parcialmente coherentes. Preferiblemente, la proporción de partículas parcialmente coherentes o incoherentes en la fase de precipitación es superior a 50%. En caso de una conformación de componentes absorbentes de energía con dicha microestructura endurecida por precipitación, al absorber energía cinética se forman múltiples superficies de deslizamiento estrechamente escalonadas como resultado de un gran número de deslizamientos casi paralelos. Además, en el componente absorbente de energía reivindicado se cuida de que el debilitamiento de la conexión entre granos en los bordes del grano se reduzca a un nivel tolerable. Esto se logra suprimiendo sobre todo, tanto como sea posible, la formación de fases con contenido de Fe en los bordes del grano, en concreto mediante el ajuste apropiado de la aleación combinado con un procedimiento de fabricación del componente en el cual se controle la formación de estas fases, en particular en lo referente a su tamaño y cantidad. Se ha demostrado que, en estas condiciones, el debilitamiento de la microestructura en la zona de los bordes del grano se reduce a un nivel aceptable a pesar del empleo de aluminio con un cierto contenido de Fe y, por lo tanto, el componente absorbente de energía muestra un buen comportamiento de colisión. Aparentemente, las fases con contenido de Fe en los bordes del grano constituyen una causa del comportamiento de colisión insatisfactorio, aunque la ductilidad del material sugiera un

comportamiento de colisión satisfactorio. Por lo tanto, la composición de aleación se selecciona de modo que la proporción de las fases que contienen Fe que se forman en los bordes del grano sea lo más pequeña posible y, como resultado del procedimiento de fabricación, estas fases tengan el menor tamaño posible. Aparentemente, otras fases formadas en los bordes del grano deterioran la idoneidad frente al impacto de un componente absorbente de energía menos que las fases que contienen Fe. Con todo, es deseable mantener también estas fases lo más reducidas posible en términos de su tamaño y su número. En la aleación para fabricar tal componente, no se pretende reducir el contenido de Fe a un mínimo absoluto. Más bien, se desea un cierto contenido de Fe, aunque bajo, ya que la aleación empleada tiene típicamente un exceso de Si, y se cree que el Fe contenido en la aleación se une al exceso de Si, lo que conduce a películas de precipitación perjudiciales en los bordes del grano.

La aleación utilizada para fabricar tal componente absorbente de energía tiene un cierto contenido de Cu. El empleo de cobre (Cu) como ingrediente de la aleación fomenta la formación de solo una (única) fase de precipitación, que en el caso de esta fase intracristalina es una fase (Al-)Mg-Si-Cu. El cobre como ingrediente de la aleación contribuye igualmente a aumentar las propiedades de resistencia estática. No obstante, cuando se emplea cobre como ingrediente de la aleación, se debe cuidar de que el contenido de cobre no sea tan grande que se formen fases de Cu en exceso, en particular fases de Fe-Cu, en los bordes del grano. La formación excesiva de estas fases, sobre todo si las fases contienen Fe además de Cu, provoca el debilitamiento de la conexión entre granos y, por lo tanto, un deterioro del comportamiento en la colisión. Por esta razón se debe controlar el contenido de Cu.

Los componentes absorbentes de energía según la invención presentan resistencias estáticas medias, mayores y máximas. Los componentes con resistencia estática media tienen un valor de $R_{p0,2}$ de aproximadamente 200 MPa a 240 MPa. Los componentes con resistencias estáticas mayores tienen un valor de $R_{p0,2}$ de aproximadamente 240 a 280 MPa. Los elementos de colisión que cumplen con las resistencias estáticas máximas alcanzan un valor de $R_{p0,2}$ superior a 280 MPa.

Un componente absorbente de energía, fabricado de una aleación de aluminio del tipo Al-Mg-Si, que tiene al menos una de las propiedades antes descritas, proporciona un buen comportamiento de colisión, sin que sea necesario demostrarlo obligatoriamente mediante ensayos de aplastamiento. Si el comportamiento de colisión deseado ha sido demostrado una vez mediante ensayos de aplastamiento en un componente absorbente de energía de este tipo, se puede controlar fácilmente sin más la producción de otros componentes absorbentes de energía por medio de los parámetros antes descritos.

Para fabricar un componente absorbente de energía del tipo antes mencionado se emplea una aleación de aluminio del tipo Al-Mg-Si, que tiene la siguiente composición:

Si:	0,30 - 1,3% en peso,
Fe:	0,08 - 0,35% en peso,
Cu:	máximo 0,5% en peso,
Mg:	0,35 - 1,0% en peso,
Mn:	0,02 - 0,8% en peso,
Zn:	máximo 0,2% en peso,
Cr:	máximo 0,15% en peso,
Ti:	máximo 0,1% en peso,

además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,15% en peso, como máximo, y un resto de aluminio.

La suma de los posibles elementos acompañantes inhibidores de la recristalización, escandio, hafnio, estroncio, vanadio, circonio y titanio asciende en conjunto a 1,0% en peso, como máximo, además del manganeso ya contenido en la aleación.

Para producir componentes absorbentes de energía de resistencia media y alta es particularmente adecuada una aleación de aluminio con la siguiente composición:

Si:	0,60 - 0,80% en peso,
Fe:	0,08 - 0,35% en peso,
Cu:	máximo 0,50% en peso,
Mg:	0,40 - 0,50% en peso,
Mn:	0,02 - 0,70% en peso,

ES 2 709 894 T3

Zn: máximo 0,20% en peso,

Cr: máximo 0,12% en peso,

Ti: máximo 0,08% en peso,

5 además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,15% en peso, como máximo, y un resto de aluminio.

Para fabricar un componente de este tipo con resistencia estática media o mayor, en un primer paso se funde una aleación con una de las composiciones antes mencionadas y se transforma mediante colada continua en tochos redondos. A continuación se homogeneizan los tochos redondos a una temperatura de homogeneización de 500 °C - 590 °C durante hasta 10 horas y luego se conforman a temperaturas entre 440 °C y 520 °C, en particular a 460 °C - 10 490 °C. La conformación en caliente se puede realizar mediante un proceso de prensado por extrusión. Asimismo, también es posible el forjado. Durante la conformación o después de ella, se recuecen en solución los productos semielaborados conformados en caliente y se templean. El temple se realiza en agua o en aire, prefiriéndose el temple por aspersion con agua. En caso de un temple al aire, el producto semielaborado alcanza resistencias estáticas medias con valores de $R_{p0,2}$ de 200 MPa a 240 MPa. Mediante un temple en agua se pueden lograr 15 mayores resistencias estáticas con valores de $R_{p0,2}$ de 240 MPa a 280 MPa. Después del temple, el producto semielaborado se endurece mediante envejecimiento por calor, en concreto a temperaturas entre 170 °C y 220 °C durante 3 - 16 horas.

La aleación antes mencionada se caracteriza, frente a las aleaciones anteriormente conocidas, por intervalos estrechamente limitados de los elementos de aleación participantes, con excepción del manganeso. Ello es también 20 un requisito previo para la reproducibilidad de los componentes, con vistas a conseguir las propiedades deseadas de los componentes.

El elemento cobre, en las proporciones especificadas, sirve para generar la fase de precipitación requerida. El ingrediente de cobre contenido obligatoriamente en la aleación antes mencionada sirve además para producir una única fase de precipitación (fase de precipitación (Al-)Mg-Si-Cu) con el fin de aumentar la resistencia al sobre-envejecimiento del producto semielaborado en caso de un envejecimiento por calor. Mientras que en 25 aleaciones anteriormente conocidas se ha utilizado el cobre exclusivamente para incrementar la resistencia, en relación con la fabricación de un componente absorbente de energía este elemento sirve especialmente para los dos propósitos antes mencionados cuando se utiliza una de las dos aleaciones antes mencionadas. Sin embargo, el contenido de cobre utilizado es tan bajo que la conexión entre granos no se debilita excesivamente por las fases que 30 contienen Cu, en particular las que contienen Fe-Cu. En un desarrollo está previsto que el contenido de cobre de la aleación empleada ascienda como mínimo a 0,1% en peso.

El contenido de Mn de la aleación utilizada para componentes absorbentes de energía con mayor resistencia se indica como 0,02 - 0,70% en peso. Las propiedades deseadas del componente absorbente de energía fabricado a partir de esta aleación se pueden lograr en particular si se usan contenidos mayores de manganeso, en particular los 35 situados entre 0,50 y 0,70% en peso, y adicionalmente un contenido de Cr de 0,05% -0,12%. En este último caso, el contenido de los elementos inhibidores de la recristalización es lo suficientemente alto para evitar la recristalización y mantener la microestructura de prensado en un elemento absorbente de energía fabricado mediante un procedimiento de prensado por extrusión.

Las aleaciones antes descritas son adecuadas para fabricar componentes absorbentes de energía prensados por extrusión, en particular también aquellos componentes con solamente un reducido espesor de pared inferior a 10 40 mm, en particular inferior a 5 mm o incluso inferior a 3 mm. Tales componentes absorbentes de energía están configurados preferiblemente como perfil hueco de múltiples cámaras, en particular en el caso de espesores de pared reducidos.

Para los componentes absorbentes de energía dotados de la máxima resistencia se emplea preferiblemente una 45 aleación de aluminio con la siguiente composición:

Si: 0,90 - 1,10% en peso,

Fe: 0,08 - 0,35% en peso,

Cu: máximo 0,50% en peso,

Mg: 0,55 - 0,75% en peso,

50 Mn: 0,40 - 0,70% en peso,

Zn: máximo 0,20% en peso,

Cr: máximo 0,12% en peso,

Ti: máximo 0,08% en peso,

además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,15% en peso, como máximo, y un resto de aluminio.

5 Esta aleación se caracteriza, en cada caso con límites estrechos, por contenidos comparativamente elevados de Si y Mg. Esta aleación es adecuada para el prensado por extrusión y se homogeneiza a 480 °C - 540 °C durante hasta 15 horas y se prensa por extrusión aprovechando el denominado efecto de prensado, con el cual se consigue un resultado de incremento de la resistencia. Al igual que en el caso de la variante de aleación de mayor resistencia con efecto de prensado, esta variante también presenta mayores contenidos de Mn y Cr con el fin de evitar una recristalización.

10 A continuación se explica la invención con más detalle haciendo referencia a las figuras adjuntas. Estas muestran:

la Figura 1: una micrografía electrónica de barrido de un sector de una microestructura de un componente de colisión con resistencia estática media según la invención, con un buen comportamiento de aplastamiento,

15 la Figura 2: una micrografía electrónica de transmisión de un borde de grano de un componente de colisión según la invención con un buen comportamiento de aplastamiento,

la Figura 3: una micrografía electrónica de barrido de un componente con insuficiente idoneidad frente al impacto,

20 las Figuras 4a - 4c: un cubo de microestructura construido virtualmente a partir de tres secciones pulidas de distintos planos de un componente de colisión (Figura 4a), una representación esquemática de granos en el plano *L-ST*, que representa la dirección de carga principal del componente de colisión (Figura 4b) y una vista ampliada de la sección pulida que forma el plano *L-ST* del cubo de microestructura de la Figura 4a (Figura 4c),

la Figura 5: una fotografía de un corte de un borde de perfil de un componente absorbente de energía aplastado,

25 la Figura 6: una comparación de las composiciones de las aleaciones descritas en el contexto de estas realizaciones, frente a aleaciones anteriormente conocidas.

30 En la tabla que se reproduce a continuación se exponen las composiciones de aleación de tres aleaciones de aluminio de tipo Al-Mg-Si con las que se han fabricado componentes, siendo la aleación designada con el Tipo 1 una aleación comparativa, y siendo las aleaciones de Tipo 2 y de Tipo 3 aleaciones para fabricar los componentes absorbentes de energía idóneos frente al impacto, según la invención:

Elemento (% en peso)	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
Si	0,40	0,50	0,60	0,80	0,90	1,10
Fe	0,15	0,35	0,08	0,35	0,08	0,35
Cu	0,00	0,25	0,00	0,50	0,00	0,50
Mn	0,02	0,08	0,02	0,70	0,40	0,70
Mg	0,40	0,50	0,40	0,50	0,55	0,75
Cr	0,00	0,05	0,00	0,12	0,00	0,12
Ti	0,00	0,08	0,00	0,08	0,00	0,08

además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,15% en peso, como máximo, y un resto de aluminio.

35 Se fabricaron componentes absorbentes de energía utilizando las aleaciones del Tipo 1 que presentaban, para dicha fabricación, 0,02 - 0,08% en peso de Mn y 0,03% en peso de cromo, como máximo, de la manera siguiente: después de fundir la aleación y producir los tochos redondos por colada continua, se homogeneizaron los tochos redondos

durante tres horas a $580\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego se conformaron en caliente mediante prensado por extrusión. El extruido era un perfil de múltiples cámaras con delgado espesor de pared (aproximadamente 2 mm). Después del recocido en solución, ya sea integrado en el proceso de prensado o por separado, se templó por aspersión de agua el perfil prensado por extrusión, y a continuación se envejeció por calor. Mediante el envejecimiento por calor se llevó el componente a un estado de sobre-envejecimiento. Esto se efectuó a $205\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante seis horas.

En la Figura 1 se muestra, en una micrografía electrónica de barrido, la microestructura de un componente fabricado utilizando una aleación del Tipo 1 según el procedimiento arriba indicado. Debido a la composición de aleación antes indicada, en este componente solo está presente una única fase de precipitación, a saber, una fase (Al-)Mg-Si-Cu. Las partículas de la fase de precipitación son tan pequeñas, debido a la aleación y al proceso, que no se pueden apreciar en la Figura 1 con la ampliación elegida. Estas fases de precipitación fina están distribuidas en la microestructura con una densidad relativamente alta, de manera homogénea y finamente dispersa, como se puede ver en una micrografía electrónica de transmisión (Figura 2). En la Figura 1 también se puede apreciar que no hay fases identificables que contengan Fe-Cu presentes en los bordes del grano. Debido a esta propiedad y a la propiedad antes descrita de la existencia de una única fase de precipitación, donde las partículas de la fase de precipitación son parcialmente coherentes en más del 50%, este componente absorbente de energía presenta un buen comportamiento de aplastamiento y, por lo tanto, se debe designar como idóneo frente al impacto.

La Figura 3 muestra, por contraposición a la Figura 1, una micrografía electrónica de barrido de un componente absorbente de energía con un mal comportamiento de aplastamiento. Es claramente visible en esta fotografía, que tiene la misma escala que la fotografía de la Figura 1, que en los bordes de grano existen fases de precipitación de tamaño apreciable. En consecuencia, las fases de precipitación forman depósitos en los bordes de grano, lo que debilita la conexión entre cristales, también ayudado por el tamaño de las fases de precipitación. Se puede observar que cuando se aplasta tal componente absorbente de energía, se produce una formación de grietas que involucra la o las fases de precipitación.

Los componentes de los cuales se han realizado las micrografías electrónicas de barrido de la Figura 1 y de la Figura 3 se han fabricado utilizando la misma aleación (del Tipo 1). Sin embargo, los componentes se fabrican mediante diferentes procedimientos de fabricación. Mientras que el componente de la Figura 1 ha sido templado por aspersión con agua después del recocido en solución, el componente mostrado en la Figura 3 ha sido templado al aire después del recocido en solución. Con ello se evidencia que no solo la composición de la aleación, sino también los parámetros del proceso para la fabricación del componente son decisivos para la idoneidad del componente frente al impacto.

Para conseguir las propiedades microestructurales deseadas, los componentes absorbentes de energía que utilizan las aleaciones según la invención del Tipo 2 o del Tipo 3 se fabrican de acuerdo con un procedimiento que se diferencia de los métodos precedentes en algunos pasos. Para preparar la aleación del Tipo 2 se empleó una aleación que contenía 0,50 - 0,70% en peso de Mn y 0,05 - 0,10% en peso de cromo. En el proceso de fabricación para producir un elemento absorbente de energía con la aleación de acuerdo con estos tipos, la homogeneización se efectúa a aproximadamente $500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 12 horas, seguida de un paso de prensado por extrusión como paso de conformado en caliente, y el prensado por extrusión se lleva a cabo aprovechando el efecto de prensado. Con ello se origina en el componente un aumento en la resistencia. El recocido en solución, ya sea integrado en el proceso de prensado o por separado, el temple y el envejecimiento por calor, incluido el endurecimiento asociado con ello, se llevan a cabo del mismo modo como se ha descrito para la aleación de Tipo 1, realizándose el envejecimiento por calor a una temperatura de $170\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 12 horas. Cuando se temple al aire, el producto semielaborado consigue resistencias estáticas medias con valores de $R_{p0,2}$ desde 200 MPa hasta 240 MPa. Con un temple en agua se pueden lograr mayores resistencias estáticas, con valores de $R_{p0,2}$ de 240 MPa a 280 MPa.

En la siguiente tabla se reproducen las propiedades de resistencia estática de componentes absorbentes de energía fabricados utilizando las aleaciones de los Tipos 1, 2 y 3, mediante los procedimientos de preparación descritos:

Aleación	R_{p02} [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]
Tipo 1	210	233	13,5
Tipo 2	253	273	11,3
Tipo 3	320	346	14,1

La Figura 4a muestra un cubo de microestructura construido virtualmente a partir de tres secciones pulidas de un componente de colisión según la invención. Para formar el cubo de microestructura de la Figura 4 se han tomado muestras de un componente de colisión en los planos *L-ST*, *L-LT* y *LT-ST* y se han preparado secciones pulidas con la orientación adecuada. Para formar el cubo de microestructura mostrado en la Figura 4 se han combinado

fotografías de sectores de estas secciones pulidas. De esta manera se puede visualizar tridimensionalmente la microestructura del grano. El componente de colisión se ha fabricado mediante un proceso de prensado por extrusión como se ha descrito más arriba, aprovechando el efecto de prensado y a partir de una aleación del Tipo 2 como se ha descrito antes. Por lo tanto, en el cubo de microestructura la dirección L corresponde a la dirección de prensado, la dirección LT a la anchura del componente de colisión y la dirección ST a la dirección que discurre perpendicularmente a la superficie del perfil. Es claramente reconocible el alargamiento de los granos como resultado del proceso de prensado en la dirección L . El alargamiento de los granos en esta dirección a veces es mayor que la amplitud de la sección de corte que se muestra. Por lo tanto, los granos tienen un tamaño de partícula en esta dirección superior a 500 μm . Por el contrario, el tamaño de grano en la dirección LT es significativamente menor. El tamaño efectivo de grano utilizado en estas realizaciones es el tamaño de los granos en la dirección ST , en concreto particularmente los bordes de grano que apuntan en la dirección L , con los cuales limitan los granos individuales con los granos adyacentes en la dirección de prensado (dirección L).

Para ilustrar la expresión "tamaño efectivo de grano", la Figura 4b muestra en el plano L - ST granos individuales de un componente de colisión. Los granos individuales mostrados de manera aislada en la Figura 4b han sido estirados en el curso de un proceso de prensado por extrusión. La extensión de los granos mostrados, medida en la dirección ST en la zona de sus extremos respectivos, representa el tamaño efectivo de grano respectivo, como lo indican las flechas dirigidas una contra otra dispuestas parcialmente en los extremos. En los granos que se representan en la Figura 4b este mide aproximadamente 10 - 25 μm .

La dirección L también constituye la dirección en el componente de colisión, que representa la dirección principal de aplicación de la carga cuando se aplasta. En el aplastamiento actúan sobre el componente de colisión reproducido esquemáticamente en la Figura 4b por medio de granos individuales, las fuerzas que se indican mediante las flechas de bloque. Estas actúan sobre los granos en su dimensión en la dirección ST , que solo ocupa una pequeña extensión. Esto es responsable de la buena cohesión de la microestructura cuando se aplica una carga de aplastamiento, sin que se originen grietas.

La vista ampliada del plano de corte L - ST del cubo de microestructura de la Figura 4a, mostrada en Figura 4c, ilustra el enorme alargamiento de los granos, de modo que los granos de este componente de colisión tienen una relación de alargamiento L : ST mayor que 20:1. Aunque el comportamiento de aplastamiento de un componente de colisión esté influenciado positivamente de manera decisiva por el tamaño efectivo de grano más fino posible, se ha encontrado que, además, la formación de granos fuertemente elongados, con relaciones de alargamiento L : ST superiores a 6:1, en particular superiores a 20:1, influye positivamente en el comportamiento de aplastamiento.

Debido a la composición de la aleación y al procedimiento de fabricación, el componente de colisión antes descrito posee las resistencias estáticas deseadas. La microestructura del grano descrita, y en concreto el tamaño efectivo de grano, son responsables, junto a la composición de la aleación, de que este componente de colisión también satisfaga los requisitos establecidos para el comportamiento de aplastamiento.

Preferiblemente, se preparan componentes de colisión que satisfacen tanto los requisitos con respecto a la fase de precipitación intracristalina descrita para el Tipo 1 como aleación de referencia, como el control del Fe y los parámetros microestructurales antes mencionados en cuanto al tamaño efectivo de grano, descritos para los componentes absorbentes de energía fabricados a partir de las aleaciones del Tipo 2 y del Tipo 3. Por tanto, las afirmaciones realizadas en lo que antecede relativas a las fases de precipitación intracristalinas y el control del Fe para la aleación del Tipo 1 se aplican igualmente para los componentes absorbentes de energía fabricados a partir de aleaciones de los Tipos 2 y 3. Estos últimos difieren en cuanto a sus parámetros microestructurales, tal como se muestra en las Figuras 1 y 2 para la aleación del Tipo 1, pero no en cuanto a las fases de precipitación descritas para este propósito. Por lo tanto, las afirmaciones correspondientes también se aplican a los componentes absorbentes de energía fabricados a partir de aleaciones de los Tipos 2 y 3.

La Figura 5 muestra una imagen de detalle de una muestra para ensayo de aplastamiento de un componente absorbente de energía en forma de caja. Se representa el componente absorbente de energía en la región de un borde en el que las superficies laterales adyacentes en el estado no aplastado del componente absorbente de energía encierran un ángulo de 90°. El componente absorbente de energía está fabricado con la aleación de Tipo 2 de acuerdo con los pasos de procedimiento antes descritos y luego se ha sometido a un ensayo de aplastamiento. En el ensayo de aplastamiento se ha comprimido el componente absorbente de energía en su dimensión longitudinal (en la dirección L). La energía aplicada al componente absorbente de energía ha sido absorbida por este gracias a la formación de pliegues mostrada en la Figura 5. El componente absorbente de energía se ha deformado adoptando una estructura similar a un fuelle. Para una absorción conforme a lo prescrito de la energía cinética inducida por una colisión es esencial que, en al menos una sección, el componente absorbente de energía se deforme con la estructura similar a un fuelle mostrada en la Figura 5. La expresión "absorción de energía cinética" utilizada en el marco de estas realizaciones debe entenderse por regla general con el significado de la energía que se induce en el componente absorbente de energía a causa de una colisión, sirviendo la energía del impacto para deformar el componente absorbente de energía de la manera descrita. Por lo general, en tal deformación son críticos los bordes de dicho perfil, ya que están sometidos a esfuerzos de deformación particularmente altos. Como se muestra en la Figura 5, justo en la zona de los bordes originales del componente absorbente de energía no son visibles hendiduras

ni grietas. Antes bien, el componente absorbente de energía está dispuesto en pliegues regulares precisamente también en la zona de sus bordes. Se desea una formación de pliegues regular, como la mostrada en la Figura 5, para evitar la aparición de grietas. Haciendo referencia a la ilustración del componente absorbente de energía aplastado, según la Figura 5, cabe señalar que la formación de pliegues se realiza transversalmente a la dimensión L de la microestructura del componente absorbente de energía, es decir, en dirección transversal a la dimensión longitudinal de los granos (véanse también las Figuras 4a, 4b). Dicha formación de pliegues regular o casi regular, a la manera de un fuelle, caracteriza a los componentes absorbentes de energía según la invención, que al mismo tiempo satisfacen resistencias medias, mayores o máximas.

La Figura 6 muestra en una representación comparativa las aleaciones (de Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3) descritas en el contexto de estas realizaciones, en comparación con aleaciones anteriormente conocidas. Todas las aleaciones anteriormente conocidas se caracterizan por indicaciones de intervalo medidas de manera relativamente amplia con respecto a los elementos empleados para constituir la aleación. Dentro de los límites especificados, las aleaciones anteriormente conocidas o los componentes fabricados a partir de las mismas deben tener las mismas propiedades. Esto no es así, como han demostrado los estudios, al menos en cuanto a la idoneidad frente al impacto de componentes absorbentes de energía fabricados a partir de las mismas. Antes bien, se ha demostrado que se pueden conseguir componentes absorbentes de energía con un buen comportamiento de aplastamiento necesario para los componentes de colisión, de manera reproducible, con las aleaciones del Tipo 2 y del Tipo 3 indicadas en el diagrama, utilizando los métodos de fabricación mencionados en lo que antecede. Por lo tanto, las composiciones de aleación de las aleaciones de Tipo 2 y de Tipo 3 son aleaciones con un margen muy estrecho de proporciones de los elementos participantes en la constitución de estas aleaciones, lo que a su vez es un requisito previo para un componente absorbente de energía, fabricado a partir de las mismas, que tenga una microestructura idónea frente al impacto.

REIVINDICACIONES

1. Componente absorbente de energía para absorber energía cinética por deformación, con formación de una estructura similar a un fuelle, al menos por secciones, fabricado de una aleación de aluminio del tipo Al-Mg-Si, en donde la microestructura del componente no está recristalizada en al menos 80% en volumen y en la zona no recristalizada el tamaño efectivo del grano que se extiende perpendicularmente a la superficie del componente, medido en la dirección ST en la zona de sus extremos respectivos, el grano es menor que 100 μm , y los granos en las direcciones *L-ST* presentan una relación de alargamiento (*L:ST*) superior a 10:1, teniendo la aleación de aluminio la siguiente composición:

	Si:	0,30 - 1,3% en peso,
10	Fe:	0,08 - 0,35% en peso,
	Cu:	máximo 0,5% en peso,
	Mg:	0,35 - 1,0% en peso,
	Mn:	0,02 - 0,8% en peso,
	Zn:	máximo 0,2% en peso,
15	Cr:	máximo 0,15% en peso,
	Ti:	máximo 0,1% en peso,

ascendiendo la suma de los elementos acompañantes que inhiben la recristalización, titanio, escandio, hafnio, estroncio, circonio y/o vanadio a 1,0% en peso, como máximo, además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,15% en peso, como máximo, y un resto de aluminio, y que el procedimiento para fabricar el componente se ha llevado a cabo de manera tal que la microestructura del componente tiene fundamentalmente solo una única fase de precipitación intracristalina, dispuesta distribuida de manera finamente dispersa, con una proporción superior a 40% de partículas parcialmente coherentes y/o incoherentes y que la proporción de las fases que contienen Fe presentes en los bordes de grano es tan pequeña que la conexión entre los granos no se debilita excesivamente cuando estas partículas absorben energía cinética.

2. Componente según la reivindicación 1, caracterizado por que la relación de alargamiento (*L:ST*) es superior a 20:1.

3. Componente según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que el tamaño efectivo de grano es inferior a 50 μm , en particular inferior a 30 μm o 15 μm .

4. Componente según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la textura cristalográfica de los granos del componente presenta direcciones preferidas.

5. Componente según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la aleación de aluminio tiene la siguiente composición:

	Si:	0,60 - 0,80% en peso,
35	Fe:	0,08 - 0,35% en peso,
	Cu:	máximo 0,50% en peso,
	Mg:	0,40 - 0,50% en peso,
	Mn:	0,02 - 0,70% en peso,
	Zn:	máximo 0,20% en peso,
40	Cr:	máximo 0,12% en peso,
	Ti:	máximo 0,08% en peso,

además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,08% en peso, como máximo, y un resto de aluminio.

6. Componente según la reivindicación 5, caracterizado por que la aleación de aluminio contiene 0,50 - 0,70% en peso de Mn y 0,05 - 0,10% en peso de Cr.

7. Componente según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la aleación de aluminio tiene la siguiente composición:

5	Si:	0,90 - 1,10% en peso,
	Fe:	0,08 - 0,35% en peso,
	Cu:	máximo 0,50% en peso,
	Mg:	0,55 - 0,75% en peso,
	Mn:	0,40 - 0,70% en peso,
	Zn:	máximo 0,20% en peso,
	Cr:	máximo 0,12% en peso,
10	Ti:	máximo 0,08% en peso,

además de impurezas inevitables, de las cuales cada elemento individual presenta como máximo 0,05% en peso y estos elementos suponen en conjunto 0,15% en peso, como máximo, y un resto de aluminio.

8. Componente según la reivindicación 7, caracterizado por que la aleación contiene al menos 0,1% en peso de Cu y como máximo 0,25% en peso de Cu.

15 9. Componente según una de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por que el componente absorbente de energía es un perfil hueco de múltiples cámaras con espesores de pared inferiores a 5 mm, en particular inferiores a 3 mm.

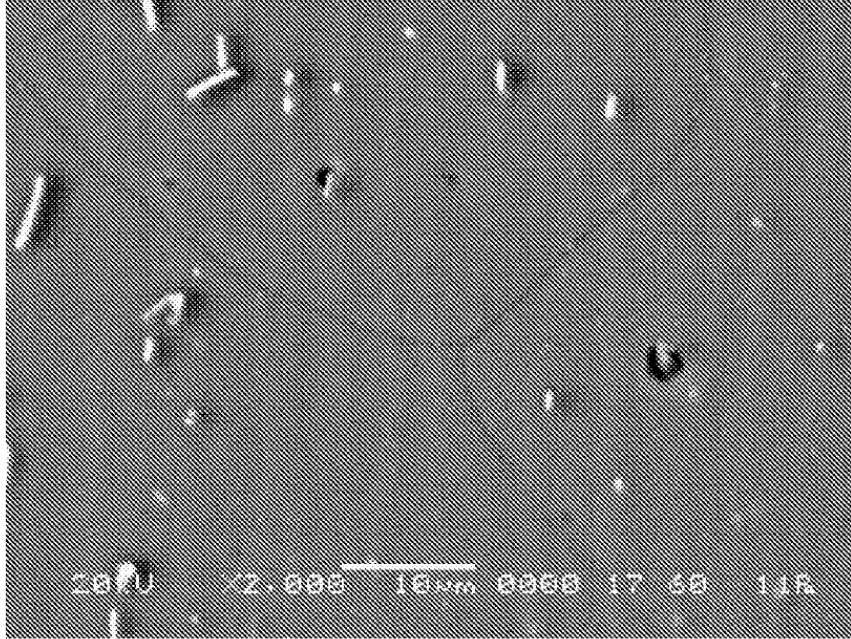


Fig. 1

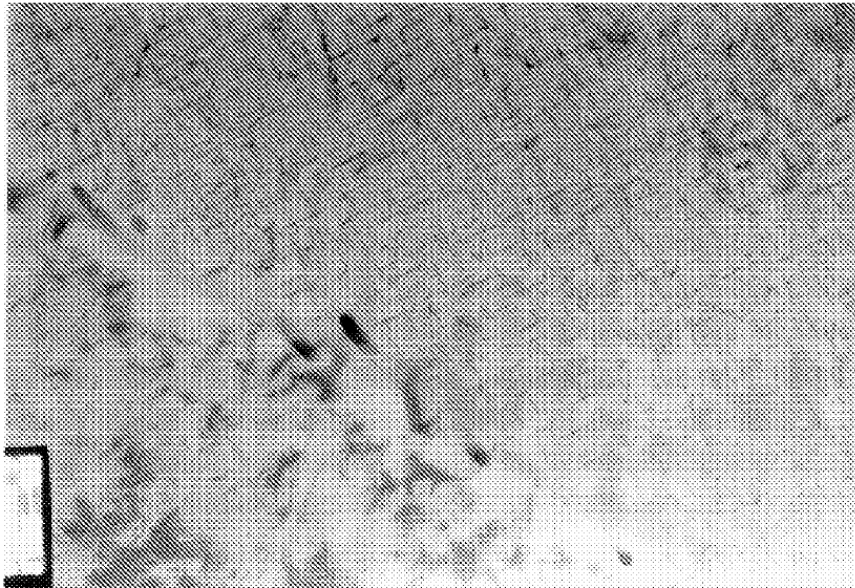


Fig. 2

Fases de precipitación

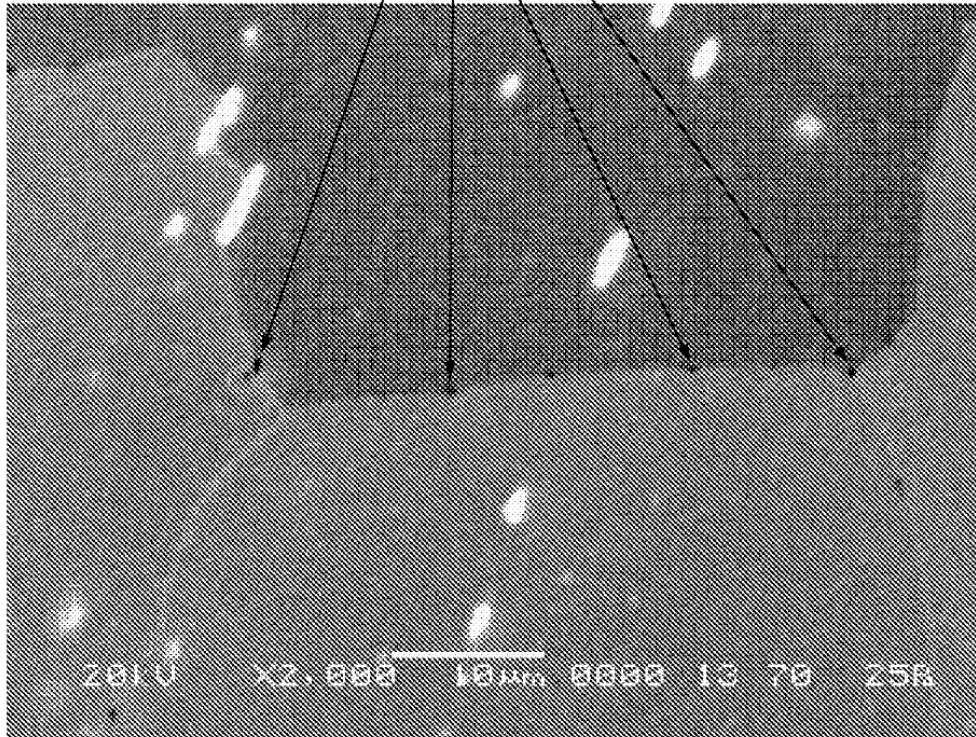


Fig. 3

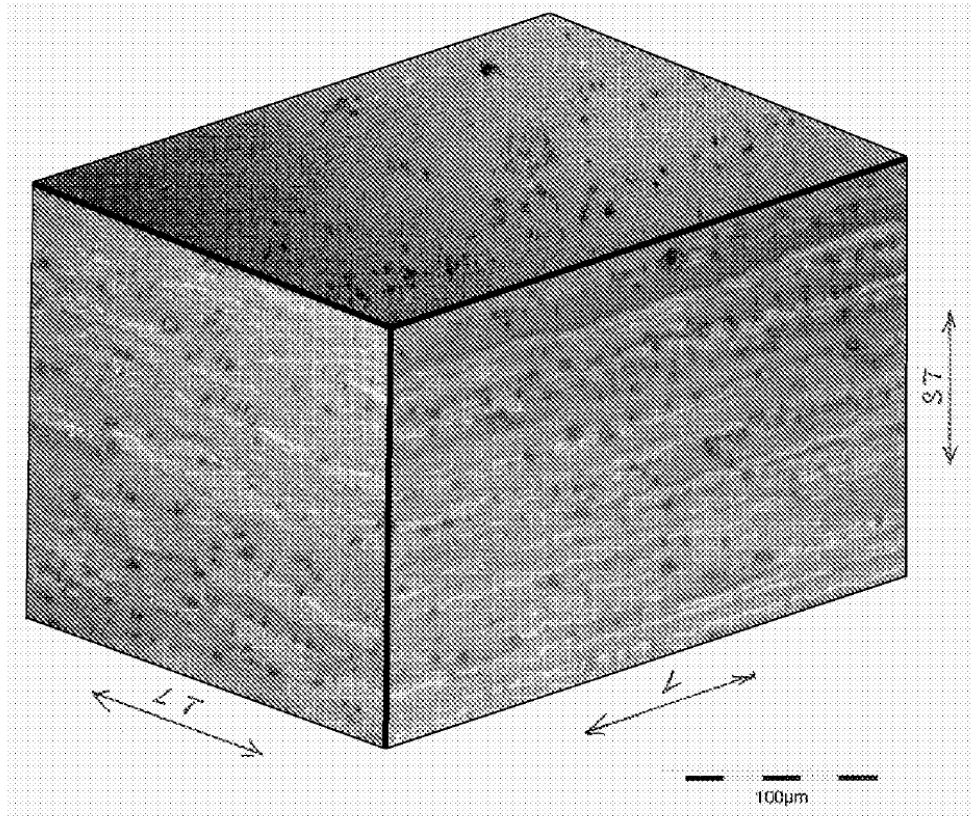


Fig. 4a

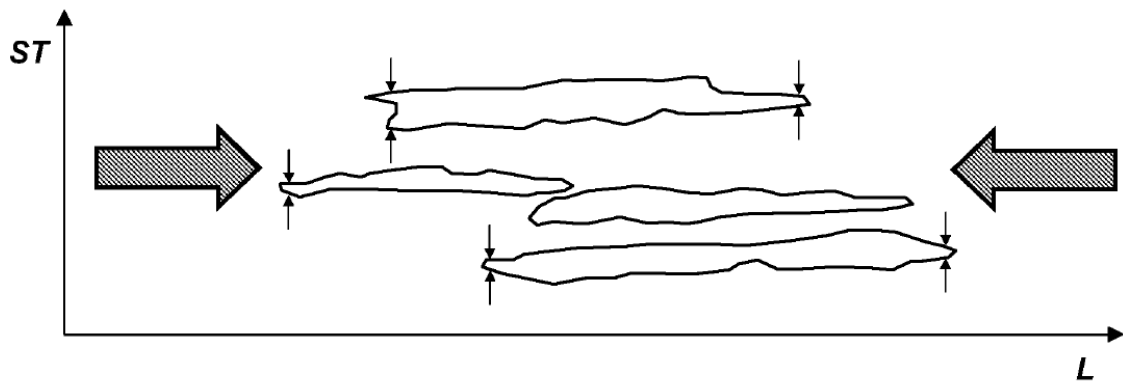


Fig. 4b

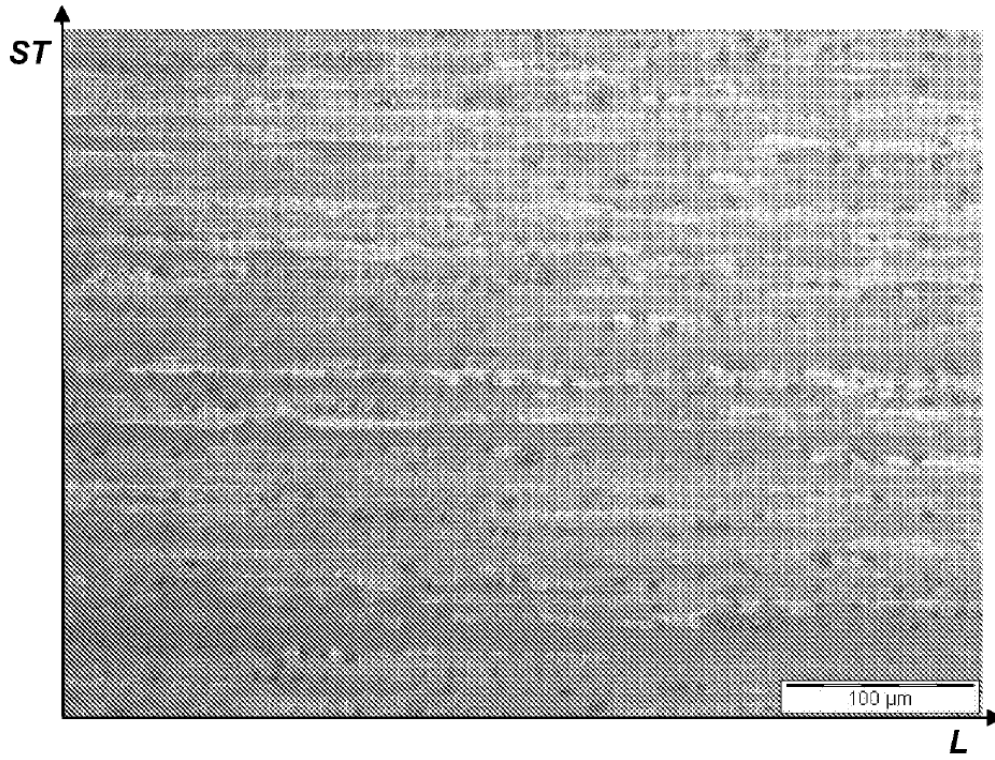


Fig. 4c

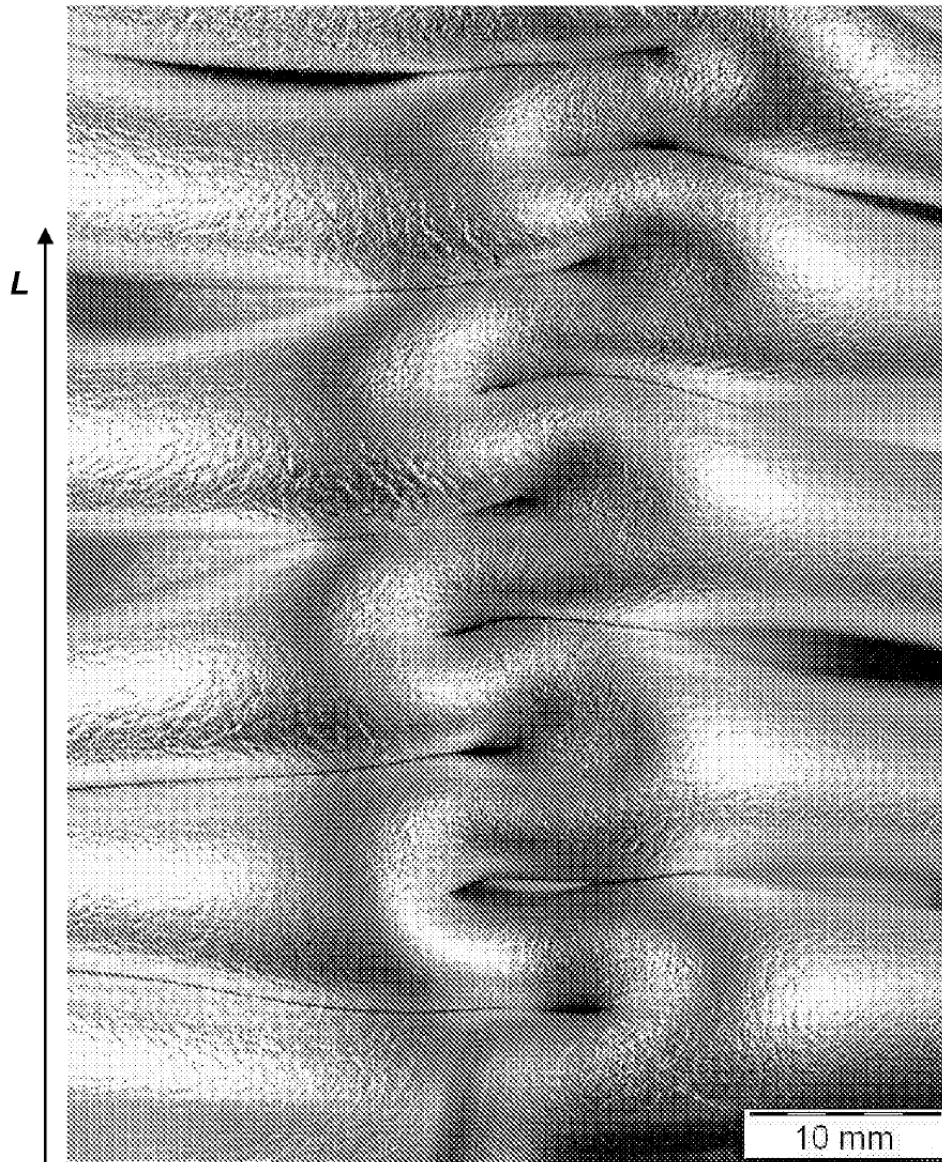


Fig. 5

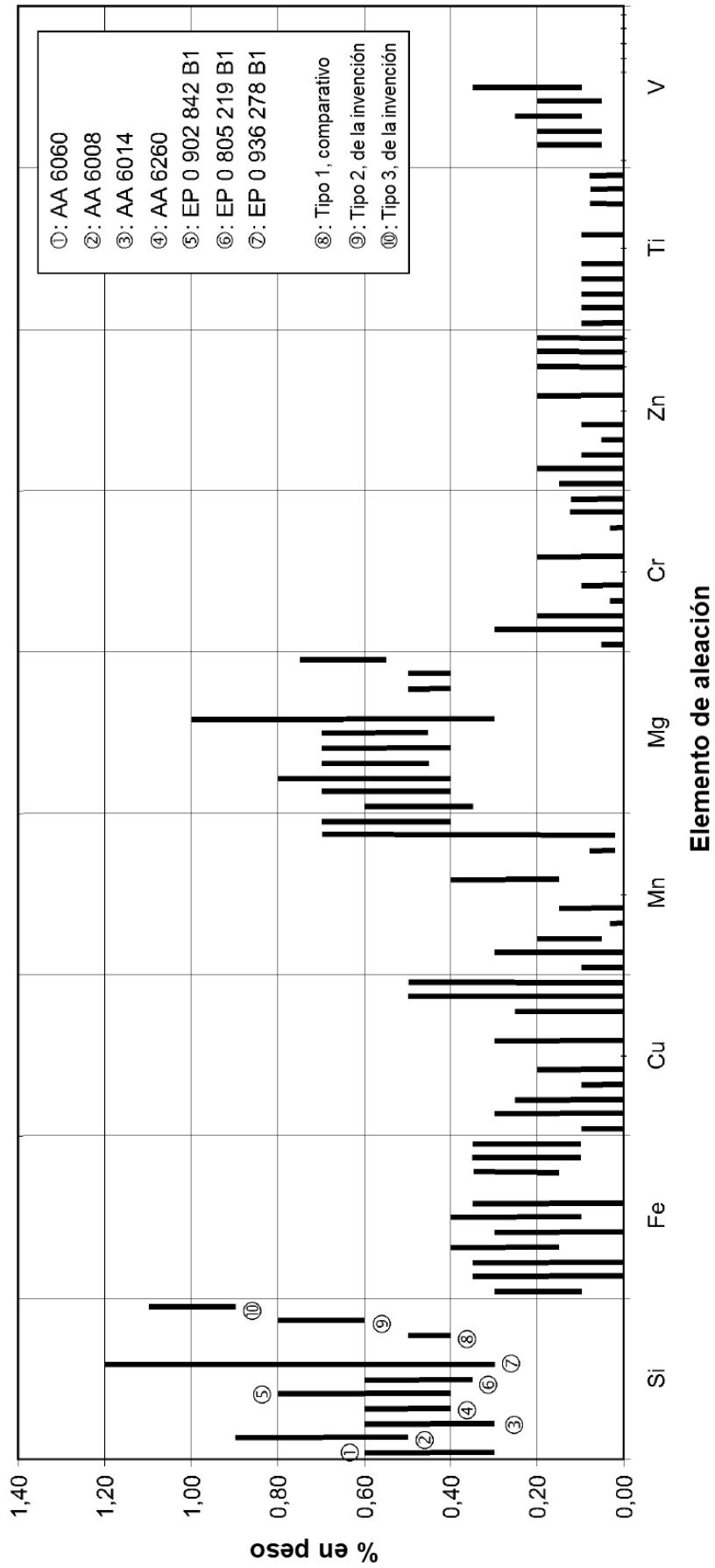


Fig. 6