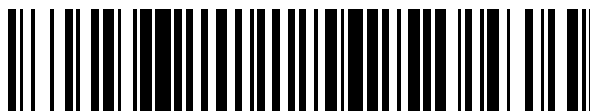


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 902 204**

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: **02.07.2018 PCT/EP2018/067740**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.01.2020 WO20007437**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2018 E 18743409 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.11.2021 EP 3818187**

54 Título: **Aleación de aluminio y producto de aleación de aluminio sobreenvejecido fabricado con dicha aleación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.03.2022

73 Titular/es:

**OTTO FUCHS - KOMMANDITGESELLSCHAFT -
(100.0%)
Derschlager Straße 26
58540 Meinerzhagen, DE**

72 Inventor/es:

**BECKER, JOACHIM;
HILPERT, MATTHIAS;
WITULSKI, THOMAS y
BESEL, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 902 204 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 aluminio y producto de aleación de aluminio sobreenvejecido fabricado con dicha aleación

- 5 La invención se refiere a una aleación de aluminio, en particular una del grupo 7000 de acuerdo con la clasificación de la Asociación del Aluminio (AA). La invención se refiere además a un producto de aleación de aluminio sobreenvejecido fabricado con dicha aleación.
- 10 Para la industria aeroespacial, las aleaciones de aluminio de alta resistencia son necesarias para la fabricación, en particular, de los componentes del fuselaje, las alas y el tren de aterrizaje que soportan la carga y que presentan una alta resistencia bajo tensión estática y dinámica. Las propiedades de resistencia requeridas se pueden conseguir utilizando aleaciones del grupo 7000 de acuerdo con la clasificación de aleaciones de aluminio de la Asociación del Aluminio (AA).
- 15 Las piezas sometidas a grandes esfuerzos en la industria aeroespacial se fabrican, por ejemplo, con las aleaciones AA7075, AA7175, AA7475 y, en particular, preferentemente con las aleaciones AA7049 y AA7050 en el espacio americano y con las aleaciones AA7010, AA7049A y AA7050A en el espacio europeo.
- 20 De la patente internacional núm. WO 02/052053 A1 se conoce una aleación de aluminio de alta resistencia del tipo mencionado con un contenido de zinc mayor que el de aleaciones anteriores del mismo tipo, junto con un contenido reducido de cobre y magnesio. El contenido de cobre y magnesio en esta aleación conocida hasta ahora es, en conjunto, inferior a 3,5 % en peso. El contenido de cobre en sí mismo se indica que es de 1,2 a 2,2 % en peso, preferentemente de 1,6 a 2,2 % en peso. Además de los elementos zinc, magnesio y cobre, esta aleación anteriormente conocida contiene necesariamente uno o más elementos del grupo de circonio, escandio y hafnio con proporciones máximas de 0,4 % en peso de circonio, 0,4 % en peso de escandio y 0,3 % en peso de hafnio.
- 25 La patente europea núm. EP 1 683 882 A1 describe una aleación de aluminio insensible al enfriamiento a partir de la cual se fabrican piezas sometidas a grandes esfuerzos, por ejemplo, para su uso en la tecnología aeroespacial, y, por tanto, componentes con elevadas propiedades de resistencia estática y dinámica y, al mismo tiempo, una buena tenacidad a la fractura y un buen comportamiento frente a la corrosión por tensiones, en donde estos componentes pueden tener un grosor superior a 200 mm. Esta aleación conocida anteriormente está compuesta por: 7 a 10,5 % en peso de Zn, 1,0 a 2,5 % en peso de Mg, 0,1 a 1,15 % en peso de Cu, 0,06 a 0,25 % en peso de Zr, 0,02 a 0,15 % en peso de Ti como elementos de aleación obligatorios, en donde la suma de los elementos de aleación Zn + Mg + Cu de al menos 9 % en peso, y con un resto de Al junto con impurezas inevitables. En el proceso de fabricación descrito en este estado de la técnica, el producto fraguado fabricado a partir de esta aleación de aluminio se sobreenvejece en una o varias etapas para optimizar las propiedades deseadas del material. La tenacidad a la fractura en un entorno neutro, de acuerdo con la norma ASTM E399, determinada en los productos fraguados elaborados con esta aleación, mejora en comparación con la técnica anterior.
- 30 Las propiedades relevantes incluyen la tenacidad a la fractura y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión en un entorno influenciado por el medio ambiente (de acuerdo con la norma ASTM E1823: environment assisted cracking; EAC por sus siglas en inglés). Para ello, el agrietamiento por corrosión bajo tensión (ACT) suele llevarse a cabo en un entorno de agua salada con el montaje experimental habitual para determinar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión (resistencia al ACT). En el montaje experimental, por ejemplo, una muestra premuecada (como la ASTM G168-00) se somete a una fuerza que actúa sobre el espécimen de muestra para aumentar la abertura de la muesca o de la grieta cuando la fuerza es suficiente para que se produzca la grieta. A medida que la longitud de la grieta aumenta, el factor de intensidad de la tensión asociado (factor K) disminuye hasta que la propagación de la grieta finalmente se detiene. El espécimen de muestra es más resistente a la ACT mientras menos crecimiento de la grieta pueda observarse o mientras mayor sea la carga (en forma de factor de intensidad de la tensión K) necesaria para la propagación de la grieta, es decir: cuanto mayor sea el factor de intensidad de la tensión al que se puede someter un espécimen de muestra muecado sin que se pueda detectar la propagación de la grieta.
- 35 40 45 50 55 60 65 La resistencia al ACT de las aleaciones de aluminio puede variar considerablemente para una misma aleación en función de las condiciones ambientales en las que se realice el ensayo ACT. El estado de envejecimiento del producto fraguado o del espécimen de muestra también influye en la resistencia al ACT. Para una aleación de acuerdo con la AA7010, la resistencia al ACT aumenta significativamente con el envejecimiento reciente del espécimen de muestra, empezando por el estado T6, pasando por el estado T76 hasta el estado T74, especialmente en un entorno de agua salada. Otras aleaciones 7xxx también muestran básicamente el mismo comportamiento en la prueba clásica de ACT (es decir, en agua salada). En condiciones ambientales cambiadas (por ejemplo, alta humedad a temperatura elevada) se muestra que, especialmente las aleaciones 7xxx con alto contenido de zinc, básicamente tienden al "agrietamiento asistido por el ambiente" incluso en el estado de sobreenvejecimiento (es decir, T7x). En este caso, la propagación de la grieta debido a la fragilidad por hidrógeno se produce preferentemente a lo largo de los límites del grano (véase, por ejemplo, EASA Safety Information Bulletin No. 2018-04). Para la AA7010, en tales condiciones ambientales de EAC se pueden alcanzar valores de K_{IEAC} entre 6 y 7 $MPa\sqrt{m}$ en el estado T6, en el estado de sobreenvejecimiento T74 los valores de K_{IEAC} aumentan hasta

25 MPa√m, sin embargo, con una resistencia significativamente menor debido al sobre-envejecimiento en comparación con el estado T6. De acuerdo con lo anterior, el factor K_{IEAC} es una medida de la resistencia al EAC, ya que no se produce propagación de la grieta para tensiones $K_I < K_{IEAC}$.

5 La aleación (AA7037), conocida de la patente europea núm. EP 1 683 882 A1, con propiedades de resistencia mejoradas en comparación con la aleación AA7010, sorprendentemente no muestra la esperada resistencia al EAC a medida que aumenta el envejecimiento, como puede observarse en un espécimen de muestra de la aleación AA7010. Incluso en el estado T7452 sobre-envejecido, se puede lograr una resistencia al EAC de solo alrededor de $K_{IEAC} = 6$ a 7 MPa√m con la aleación de acuerdo con AA 7037 en un entorno húmedo a temperatura elevada (50 °C, 85 % de humedad relativa).

15 Por consiguiente, basado en este estado de la técnica descrito, la invención tiene el objetivo de proponer una aleación de aluminio a partir de la cual se pueda fabricar un producto de aleación de aluminio con valores de resistencia comparables a los mostrados por un producto de aleación fabricado a partir de la aleación AA7037, que, sin embargo, presente una mejor resistencia al EAC bajo influencias ambientales que favorezcan la iniciación y la propagación de grietas.

De acuerdo con la invención, este objetivo se logra mediante una aleación de aluminio con la siguiente composición:

20 0,04 - 0,1 % en peso de Si,
 0,8 - 1,8 % en peso de Cu,
 1,5 - 2,3 % en peso de Mg,
 0,15 - 0,6 % en peso de Ag,
 7,05 - 9,2 % en peso de Zn,
 25 0,08 - 0,14 % en peso de Zr,
 0,02 - 0,08 % en peso de Ti
 máximo de 0,35 % en peso de Mn,
 máximo de 0,1 % en peso de Fe,
 máximo de 0,06 % en peso de Cr,
 30 opcionalmente 0,0015 - 0,008 % en peso de Be,
 Resto de aluminio junto con las impurezas inevitables.

35 En el caso de las aleaciones descritas en el contexto de estas explicaciones puede haber impurezas inevitables por elemento con un máximo de 0,05 % en peso por elemento y un total máximo de 0,15 % en peso.

40 Sorprendentemente, para los productos fraguados fabricados con dicha aleación se encontró que la resistencia al EAC mejora considerablemente en comparación con los valores alcanzados con los especímenes fabricados con la aleación AA7037, a pesar de un contenido de Zn relativamente alto, incluso bajo influencias ambientales que favorecen las grietas por corrosión. Sin embargo, los valores de resistencia mecánica son suficientemente altos. El límite elástico $R_{p0.2}$ es superior a 440 MPa y puede alcanzar valores de 460 MPa y más en una forja con un grosor de 150 mm. La tenacidad a la fractura es superior a 20 MPa√m y puede alcanzar valores de 25 MPa√m y más.

45 La resistencia al ACT al realizar un ensayo de EAC (ASTM E1823; ASTM G168) en un entorno con un 85 % de humedad y una temperatura de 50 °C muestra sorprendentemente que no se observa propagación de grietas a una tensión aplicada de $K_I = 20$ MPa√m con una duración del ensayo de 30 días. Por lo tanto, incluso en estas condiciones ambientales, la resistencia al EAC de un producto de aleación fabricado a partir de la aleación de acuerdo con la invención mejora significativamente cuando se envejece al estado T7xxx en comparación con la de las aleaciones conocidas anteriormente, como la AA7037 o con respecto a la AA7010 para piezas de mayor grosor (grosor ≥ 100 mm, en particular también ≥ 150 mm). Esta aleación, así como los productos fraguados y los productos fabricados con ella, resultan ser especialmente resistentes al enfriamiento. Esto significa que, incluso como resultado de un mayor grosor (área de la sección transversal), las piezas fabricadas con la aleación no sufren ninguna pérdida de resistencia, o al menos ninguna pérdida de resistencia significativa, en las secciones centrales debido a su enfriamiento más lento. Como resultado, estas piezas tienen una gran resistencia incluso con secciones transversales grandes. Especialmente para los productos de aleación de aluminio de alta resistencia, como los utilizados en el sector aeroespacial, la resistencia al EAC en dicho entorno (85 % de humedad a 50 °C) es de especial interés. Este resultado es sorprendente, ya que la resistencia al EAC de un producto de aleación fabricado a partir de una aleación AA7037 en la misma condición de sobre-envejecimiento no lo sugería. Por último, se comprobó que la resistencia al EAC del producto de aleación AA7037 en la misma condición de envejecimiento era solo de alrededor de 6 a 7 MPa√m.

60 Así, mientras que con los productos de aleación fabricados a partir de la aleación de aluminio AA7037 se alcanzan factores de intensidad de tensión K_{IEAC} de aproximadamente 6 a 7 MPa√m en los ensayos EAC, estos valores son significativamente superiores a los 20 MPa√m de los productos de aleación de aluminio fabricados con la aleación de acuerdo con la invención en la misma condición de sobre-envejecimiento. Los valores de K_{IEAC} obtenidos para los productos de aleación de aluminio fabricados con la aleación de acuerdo con la invención son de aproximadamente 70 % o más en relación con la tenacidad a la fractura K_{IC} a temperatura ambiente. En muchos casos, el valor de

K_{IEAC} debería incluso corresponder al valor de K_{IC} (y, por tanto, no puede determinarse experimentalmente por razones técnicas), ya que no se ha podido observar la propagación de la grieta durante el período de prueba realizado (más de 30 días). La especial resistencia al EAC no era de esperar en el contexto del alto contenido de Zn. De acuerdo con la doctrina imperante, los contenidos de Zn más elevados perjudican la resistencia al EAC.

Un producto de aleación de aluminio fabricado a partir de la aleación de aluminio de acuerdo con la invención se sobrevejece preferentemente hasta el estado T74, T7451, T7452 o T7454. En este estado, el producto de aleación de aluminio continúa presentando valores suficientes de resistencia mecánica y la resistencia al ACT deseada tanto en el ensayo clásico de inmersión en solución de agua salada como en un entorno que favorezca el EAC inducido por hidrógeno, como por ejemplo en un entorno con un 85 % de humedad y una temperatura de 50 °C. En el caso de un sobrevejecimiento que no alcanza T74 o T74xx se pueden lograr valores de resistencia mecánica más altos, pero la resistencia al ACT/EAC generalmente no será tan buena como se desea. Por otro lado, el sobrevejecimiento más allá de T74/T74xx conduce a una mayor disminución de los valores de resistencia mecánica con una mejora general de las propiedades de ACT/EAC.

De acuerdo con una modalidad, esta aleación de aluminio contiene de 0,35 a 0,6 % en peso de Ag, en particular de 0,40 a 0,50 % en peso de Ag. Curiosamente, se ha demostrado que las propiedades descritas anteriormente se dan sobre todo con respecto a la resistencia al EAC en el caso de una aleación con este contenido de Ag. En esta modalidad de la aleación, la relación Zn/Mg preferida es superior a 3,4 hasta 4,95 inclusive. Preferentemente, la relación Zn/Mg es de entre 3,5 y 4,25. El contenido de cobre preferido de esta aleación se sitúa entre 0,8 y 1,35 % en peso de Cu, en particular entre 0,9 y 1,2 % en peso de Cu, asociado a un contenido de Mn entre 0,18 y 0,3 % en peso, en particular entre 0,2 y 0,25 % en peso y un contenido de Zn entre 7,1 y 8,9 % en peso. En una aleación de aluminio de este tipo, si el contenido de Cu es superior a 1,35 % en peso y se encuentra en el intervalo de más de 1,35 a 1,8 % en peso, el producto de aleación tiene propiedades de producto de aleación comparables si el contenido de Mn es inferior a 0,1 % en peso, en particular inferior a 0,05 % en peso.

Estas propiedades especiales, altos valores de resistencia y una resistencia especial al EAC, también las presenta una aleación con un contenido de Ag inferior al de la modalidad descrita anteriormente, concretamente cuando éste es inferior a 0,35 % en peso de Ag pero superior a 0,15 % en peso. El contenido de Cu y Zn corresponde a la aleación más rica en Ag, en donde la relación Zn/Mg se encuentra entre 3,9 y 4,3. La descripción anterior de estas modalidades ilustra que los efectos deseados se extienden a toda la gama de la aleación reivindicada

Las propiedades especiales del producto de aleación fabricado a partir de esta aleación se pueden determinar por el estrecho espectro de elementos involucrados en la aleación. Esto se debe a que solo con esta composición se puede establecer la resistencia al EAC deseada mediante el sobrevejecimiento del producto de aleación fabricado a partir de la aleación hasta el estado T74/T74xx.

Opcionalmente, la aleación puede contener Be. La introducción de Be en la masa fundida sirve para reducir su susceptibilidad a la oxidación. Para los fines mencionados, la cuota de Be en la composición de la aleación puede ser entre 0,0015 y 0,008, en particular en el rango de 0,0015 a 0,0035.

A continuación se describe la invención tomando como referencia ejemplos de modalidades. Tomando como referencia las figuras adjuntas, se muestran los siguientes resultados de los ensayos con especímenes de acuerdo con la norma ASTM G168 en condiciones ambientales de 50 °C y 85 % de humedad relativa:

En la Figura 1: Un diagrama que muestra la resistencia al EAC en términos de velocidades de grietas de meseta, así como la resistencia al K_{IEAC} de una aleación convencional AA7010 en diferentes estados de envejecimiento o sobrevejecimiento,

En la Figura 2: Un diagrama que muestra los resultados de un ensayo de EAC en condiciones ambientales (50 °C / 85 % de humedad relativa) de dos especímenes comparativos de una aleación AA7037, y

En las Figuras 3 - 6: Diagramas que se corresponden con el de la Figura 2, que muestran los resultados de los ensayos de dos a cuatro especímenes de muestra de las aleaciones de acuerdo con la invención.

Se produjeron especímenes de muestra de las aleaciones comparativas y de la aleación de prueba de la siguiente manera:

- Fundición de lingotes de la aleación;
- Homogeneización de los lingotes fundidos a una temperatura lo más cercana posible a la temperatura de fusión de la aleación durante un tiempo de calentamiento y mantenimiento suficiente para lograr una distribución lo más uniforme y fina posible de los elementos de aleación en la estructura fundida, preferentemente a 460 - 490 °C;
- Conformado en caliente de los lingotes homogeneizados mediante forja, extrusión y/o laminación en el rango de temperaturas de 350 a 440 °C;

- Recocido por disolución del producto fraguado formado en caliente a temperaturas lo suficientemente altas como para disolver los elementos de aleación necesarios para el endurecimiento por envejecimiento distribuidos uniformemente en la microestructura, preferentemente a 465 - 500 °C;
- Enfriamiento de los productos fraguados recocidos en solución en agua a una temperatura comprendida entre la temperatura ambiente y 100 °C o en una mezcla de agua y glicol o en una mezcla de sal a temperaturas comprendidas entre 100 °C y 170 °C;
- en caso necesario, recalado en frío (es decir, estado final T7x52 antiguo T7x54) o estiramiento (es decir, estado final T7x51) del producto con grados de recalado/recuperación preferentemente en el rango de 1 a 5 %; y
- envejecimiento artificial en varias etapas del producto fraguado templado para sobredimensionar el producto fraguado hasta la condición T74 o T7452/T7454/T7451.

Las composiciones de aleación de las aleaciones comparativas y de las aleaciones de prueba en % en peso son las siguientes:

	Si	Cu	Mg	Ag	Zn	Zr	Mn	Fe	Cr	Ti	Al
AA 7010	0,1	1,65	2,3	-	6,3	0,11	0,02	0,08	0,02	0,03	Resto
AA 7037	0,04	0,9	1,65	-	8,5	0,12	0,29	0,07	0,01	0,05	Resto
E1	0,07	1,1	1,9	0,21	7,5	0,11	0,22	0,05	-	0,03	Resto
E2	0,07	1,05	1,9	0,45	7,5	0,11	0,22	0,06	-	0,03	Resto
E3	0,07	1,1	2,2	0,45	7,5	0,11	0,22	0,06	-	0,03	Resto
E4	0,07	1,55	1,75	0,45	7,5	0,11	-	0,08	0,01	0,03	Resto
E5	0,07	1,1	1,7	0,45	8,3	0,11	0,22	0,08	-	0,03	Resto
E6	0,07	1,55	1,75	0,2	7,5	0,12	-	0,05	-	0,03	Resto

Los especímenes en estado T7452 se sometieron a un ensayo EAC de acuerdo con la norma ASTM E1681 utilizando especímenes DCB de acuerdo con la norma ASTM G168 en el presente caso a una humedad relativa de 85 % y una temperatura de 50 °C. Al inicio del ensayo, las tensiones en los especímenes con grietas eran entre 20 y 30 MPa√m, en dependencia de la tenacidad a la fractura determinada. Las investigaciones sobre el comportamiento del EAC en los especímenes de DCB se realizaron en una orientación S-L. Por tanto, los valores del K_{IEAC} se refieren a esta orientación. La orientación S-L es la dirección en la que un espécimen es más susceptible de sufrir un fallo inducido por EAC. El espécimen se carga en la dirección ST del forjado (en la dirección de menor extensión). Por lo tanto, es de esperar un agrietamiento incipiente en la dirección L (dirección de mayor expansión). Por lo tanto, los ensayos de EAC se llevaron a cabo en muestras orientadas S-L.

Sobre la base del espécimen de la aleación AA7010, la Figura 1 muestra la influencia del envejecimiento en el aumento de los valores de K_{IEAC} y la disminución simultánea de la tasa de propagación de la grieta inicial. Aunque los valores de K_{IEAC} en el estado T6 son bajos y no cumplen los requerimientos (K_{IEAC} de 5 MPa√m), la resistencia al EAC mejora con el aumento del envejecimiento. En el estado T7452, el valor K_{IEAC} es de 24 MPa√m. Sin embargo, los valores de resistencia mecánica de esta aleación son aceptables solo hasta el estado T76, mostrando una tenacidad a la fractura K_{IC} de alrededor de 21 MPa√m y un límite elástico $R_{p0,2}$ de 470 MPa. En el estado T7452, aunque el valor de K_{IEAC} de 24 MPa√m es relativamente alto, al igual que el valor de K_{IC} de alrededor de 32 MPa√m, el límite elástico $R_{p0,2}$ de 420 MPa no es suficiente.

En comparación con la aleación AA7010, la aleación AA7037, que ya ha sido mejorada en términos de resistencia, también muestra valores de resistencia mecánica suficientes en el estado T 7452 con un límite elástico $R_{p0,2}$ de 450 MPa y más y una tenacidad a la fractura K_{IC} de alrededor de 30 MPa√m, pero no una resistencia al EAC que cumpla los requerimientos, véase la Figura 2. El valor de K_{IEAC} es de alrededor de 6 MPa√m.

Por el contrario, como se puede observar en el diagrama de la Figura 3, se alcanzan valores de K_{IEAC} superiores a 20 MPa√m con el espécimen E1 fabricado con la aleación de acuerdo con la invención, por lo que cabe señalar con respecto a este espécimen muestra que no se pudo observar la propagación de grietas en el período de ensayo de 30 días en el entorno de EAC mencionado. La no propagación de la grieta en el entorno que promueve el EAC (85 % de humedad, 50 °C) es evidente por la agrupación de puntos de los diferentes especímenes, que son simplemente el resultado de la dispersión en las mediciones de la longitud de la grieta. En el diagrama de la Figura 2 se puede ver un comportamiento típico de resistencia a la tensión que conduce a la propagación de la grieta y a la fractura, utilizando el espécimen de aleación AA7037. El límite elástico $R_{p0,2}$ para E1 es de alrededor de 480 MPa. La tenacidad a la fractura K_{IC} es de alrededor de 26 MPa√m (Posición de espécimen S-L).

La Figura 4 muestra un diagrama que se corresponde con el de la Figura 3 con los resultados de un espécimen de aleación E2. Para este espécimen tampoco se pudo observar la propagación de grietas en el período de prueba de 30 días. La resistencia al EAC se refleja en los valores K_{IEAC} de más de 35 MPa√m obtenidos.

5 La Figura 5 muestra otro diagrama del tipo anterior con los valores de K_{IEAC} de alrededor de 20 MPa√m obtenidos con cuatro especímenes de aleación E4. Para este espécimen tampoco se pudo observar la propagación de grietas en el período de prueba de 30 días.

10 De también cuatro especímenes de aleación de acuerdo con la invención según E5, los valores K_{IEAC} se pueden tomar del diagrama de la Figura 6. Estos oscilan entre 22 y 26 MPa√m aproximadamente. La agrupación de puntos en este diagrama también muestra que no se observó ningún crecimiento de grietas durante el período de prueba.

Los valores de resistencia de los especímenes de muestra de las aleaciones comparativas mencionadas anteriormente, así como los de las aleaciones E1 - E6 de acuerdo con la invención, se resumen en la siguiente tabla:

15

Aleación	Propiedades de EAC en T7452	Propiedades de resistencia en T7452		K_{IEAC}/K_{IC}
	K_{IEAC} [MPa√m]	$K_{IC, S-L}$ [MPa√m]	$R_{p0,2,L}$ [MPa]	
AA7010	24	32	420	≈ 75 %
AA7037	6	22	450	≈ 27 %
E1	> 20	26	482	≥ 80 %
25 E2	No hay crecimiento de grietas > 20	23	466	≥ 90 %
E3	No hay crecimiento de grietas > 20	20	470	≈ 100 %
E4	No hay crecimiento de grietas > 20	21	487	≥ 90 %
30 E5	No hay crecimiento de grietas > 20	26	467	≥ 90 %
E6	No hay crecimiento de grietas > 20	22	470	≥ 90 %

35 La descripción de las aleaciones de acuerdo con la invención, así como de los productos de aleación sobreenviejidos fabricados a partir de ellas, deja claro que la resistencia al EAC de estos productos de aleación es inesperadamente buena.

REIVINDICACIONES

1. Aleación de aluminio que comprende
 - 5 0,04 - 0,1 % en peso de Si,
0,8 - 1,8 % en peso de Cu,
1,5 - 2,3 % en peso de Mg,
0,15 - 0,6 % en peso de Ag,
10 7,05 - 9,2 % en peso de Zn,
0,08 - 0,14 % en peso de Zr,
0,02 - 0,08 % en peso de Ti
máximo de 0,35 % en peso de Mn,
máximo de 0,1 % en peso de Fe,
máximo de 0,06 % en peso de Cr,
15 opcionalmente 0,0015 - 0,008 % en peso de Be,
Resto de aluminio junto con las impurezas inevitables.
 2. Aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada porque la aleación contiene menos de 0,35 % en peso de Ag, en particular más de 0,15 - 0,26 % en peso de Ag, en particular 0,2 - 0,23 % en peso de Ag, 0,9 - 1,6 % en peso de Cu, 7,15 - 8,3 % en peso de Zn, en particular 7,3 - 7,8 % en peso y tiene una relación Zn/Mg en el rango de 3,6 a 4,4 inclusive, en particular en el rango de 3,9 a 4,3.
 3. Aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada porque contiene 0,35 - 0,55 % en peso de Ag, en particular 0,40 - 0,50 % en peso de Ag.
 - 25 4. Aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizada porque la aleación de aluminio tiene una relación Zn/Mg con respecto a los elementos Zn y Mg en el rango de más de 3,4 hasta 4,9 inclusive.
 5. Aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizada porque comprende 0,8 - 1,35 % en peso de Cu, en particular 0,9 - 1,2 % en peso de Cu, 0,18 - 0,3 % en peso de Mn, en particular 0,2 - 0,25 % en peso de Mn y 7,1 - 8,9 % en peso de Zn.
 - 30 6. Aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizada porque comprende más de 1,35 a un máximo de 1,8 % en peso de Cu y menos de 0,1 % en peso de Mn, en particular menos de 0,05 % en peso de Mn.
 - 35 7. Aleación de aluminio de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada porque comprende 0,0015 - 0,0035 % en peso de Be.
 - 40 8. Producto de aleación de aluminio fabricado a partir de una aleación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque el producto de aleación de aluminio está sobre-envejecido de acuerdo con T74xx.
 - 45 9. Producto de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque el producto de aleación de aluminio se deforma plásticamente después del tratamiento térmico de la solución y antes del envejecimiento y, por tanto, está sobre-envejecido de acuerdo con T7451 o T7452 o T7454.
 - 50 10. Producto de aleación de aluminio envejecido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 caracterizado porque el límite elástico $R_{p0,2}$ es al menos 440 MPa, la tenacidad a la fractura (K_{IC}) es al menos 20 MPa \sqrt{m} y no hay propagación de grietas después de realizar un ensayo EAC de acuerdo con la norma ASTM E1681 utilizando especímenes de DCB de acuerdo con la norma ASTM G168 en las siguientes condiciones:
 - 55 - en el aire a 50 °C
 - en una humedad del 85 %
 - con una carga de hasta 20 MPa \sqrt{m} y
 - un período de prueba de 30 días.

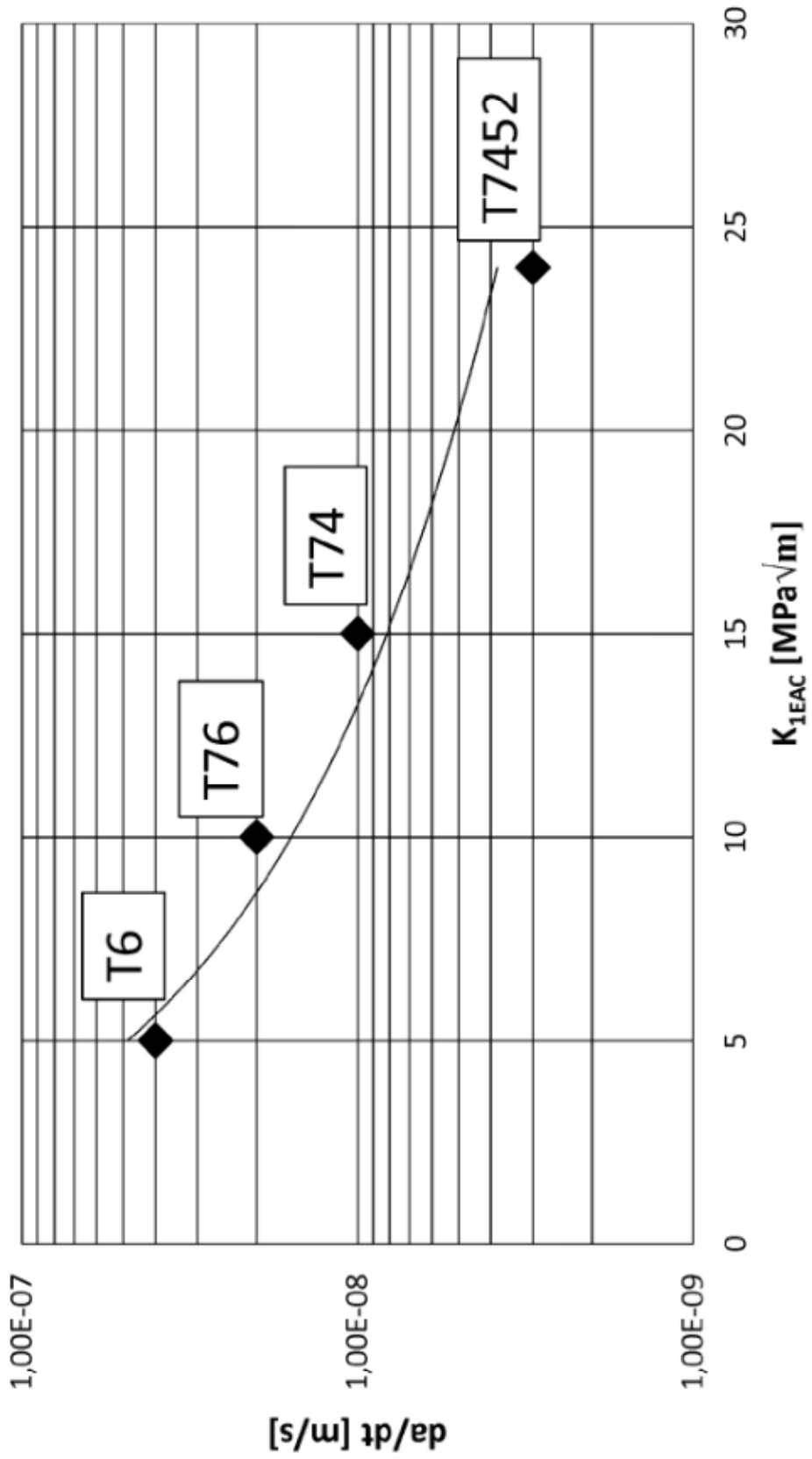


Figura 1

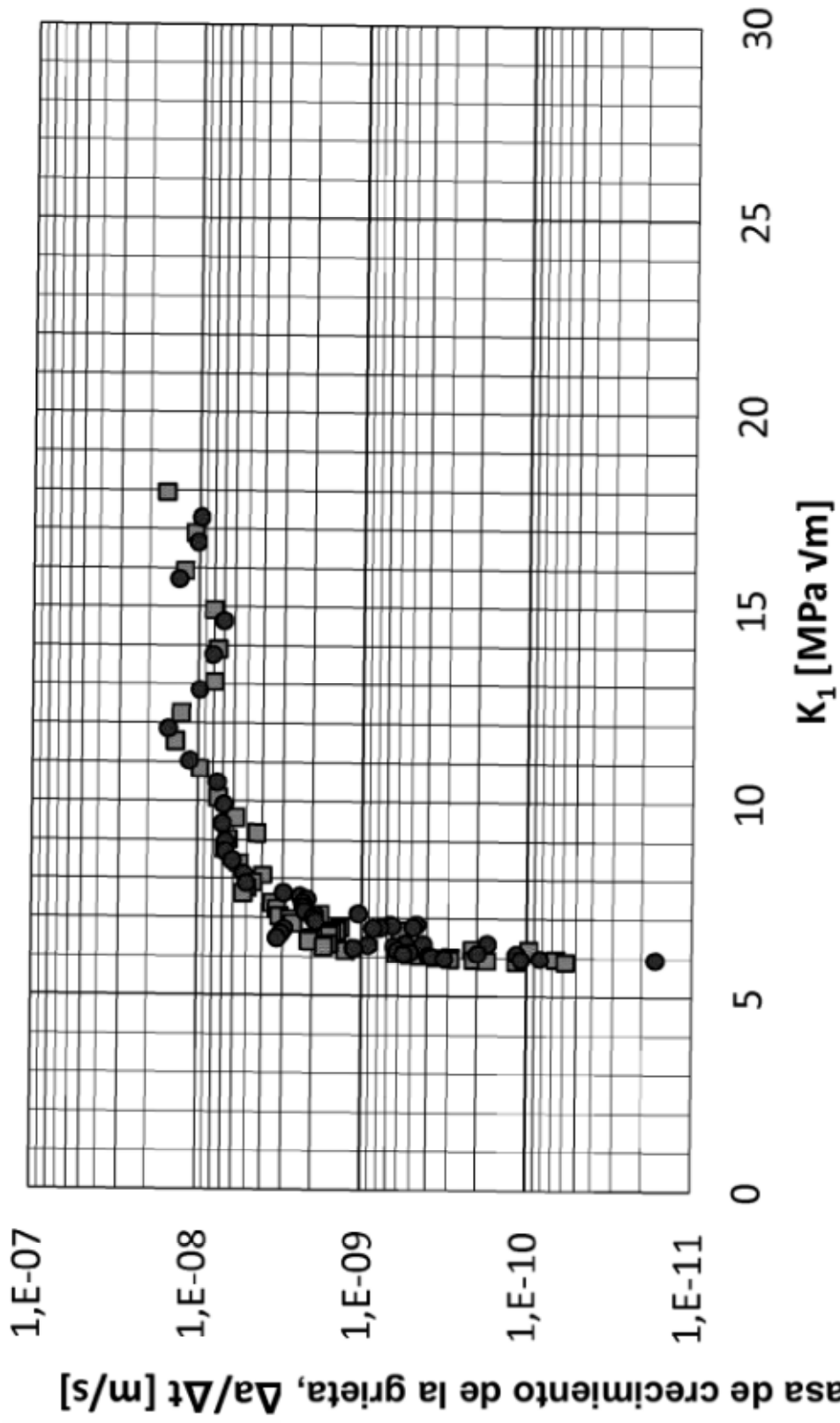


Figura 2

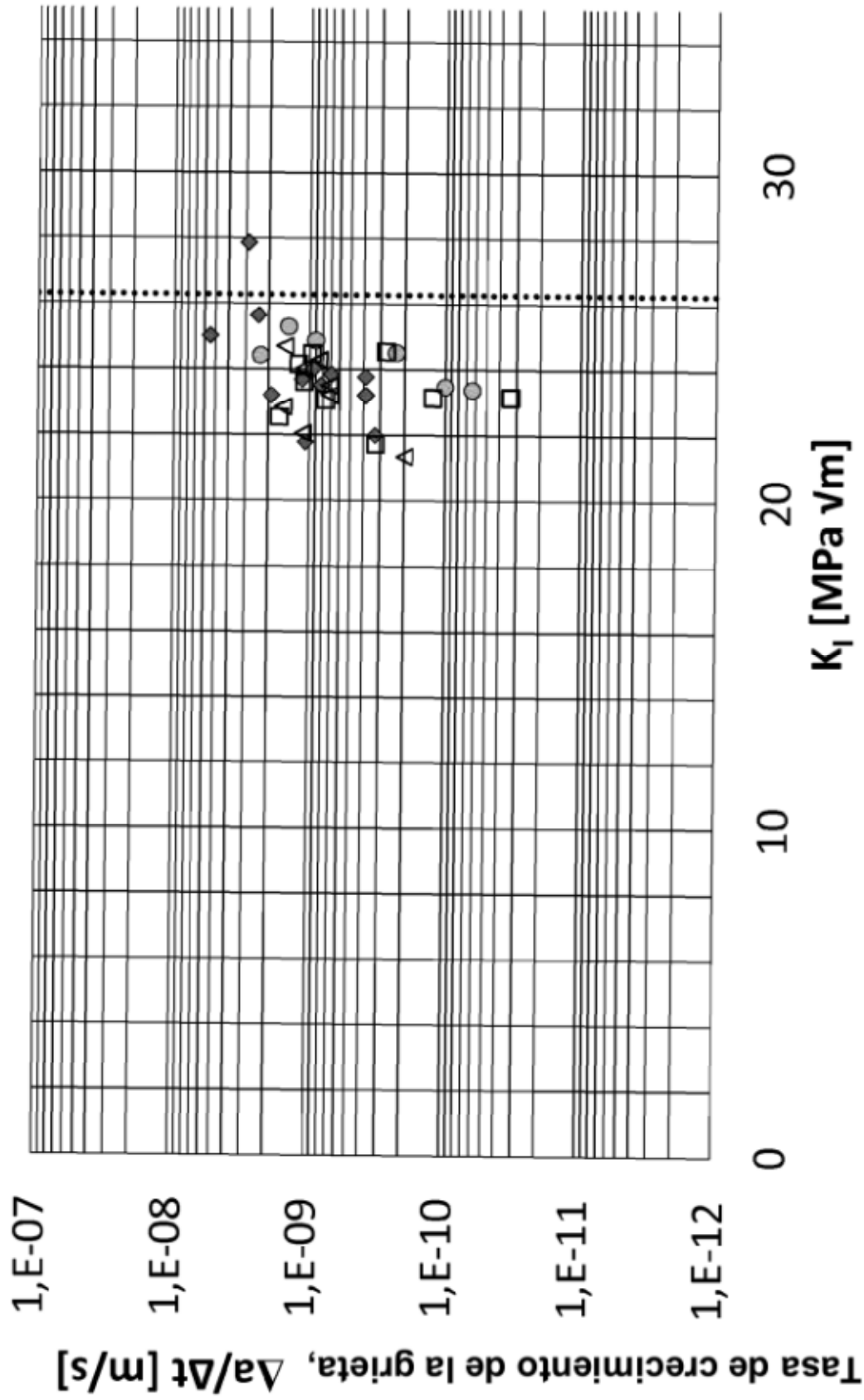


Figura 3

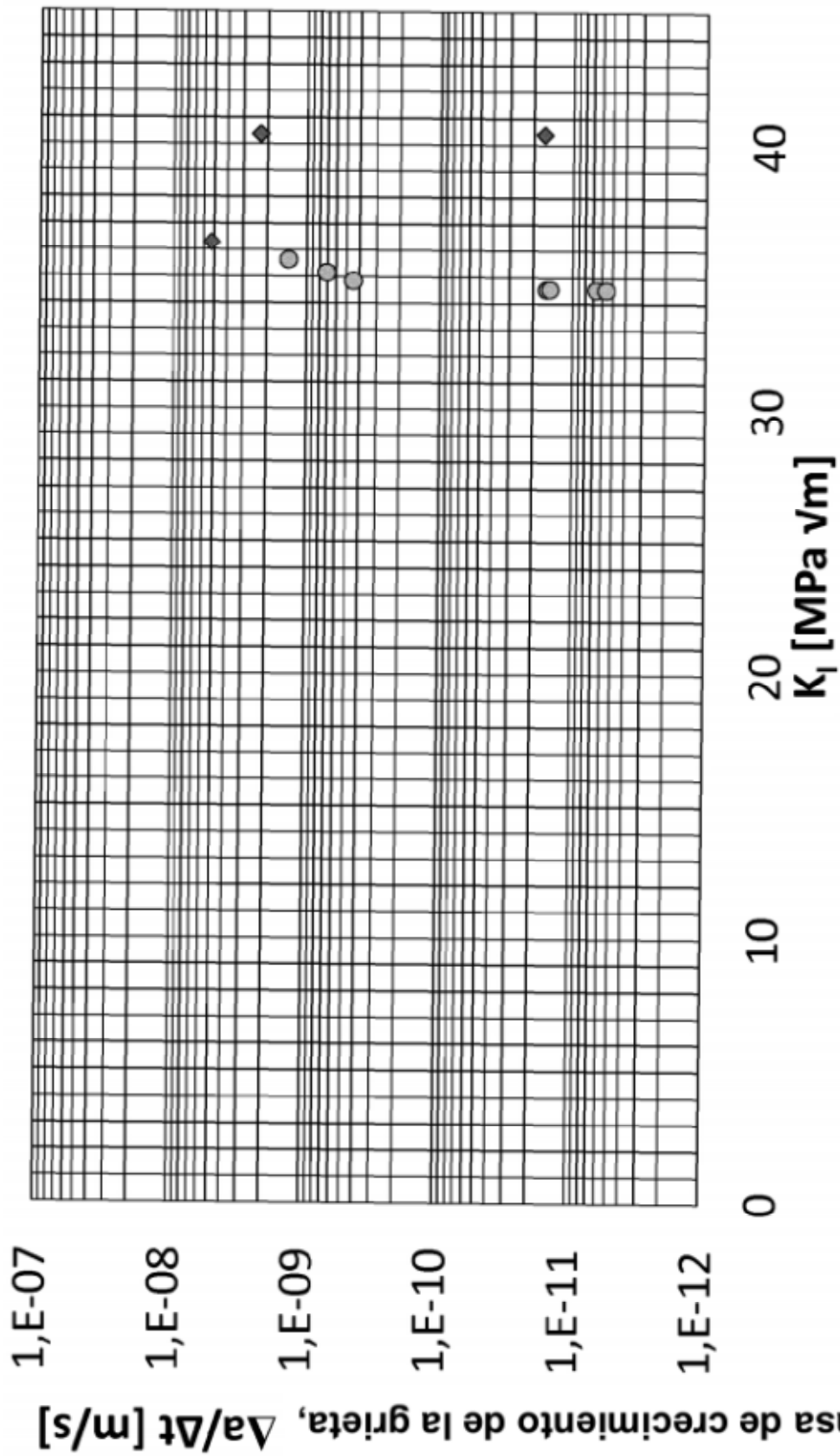


Figura 4

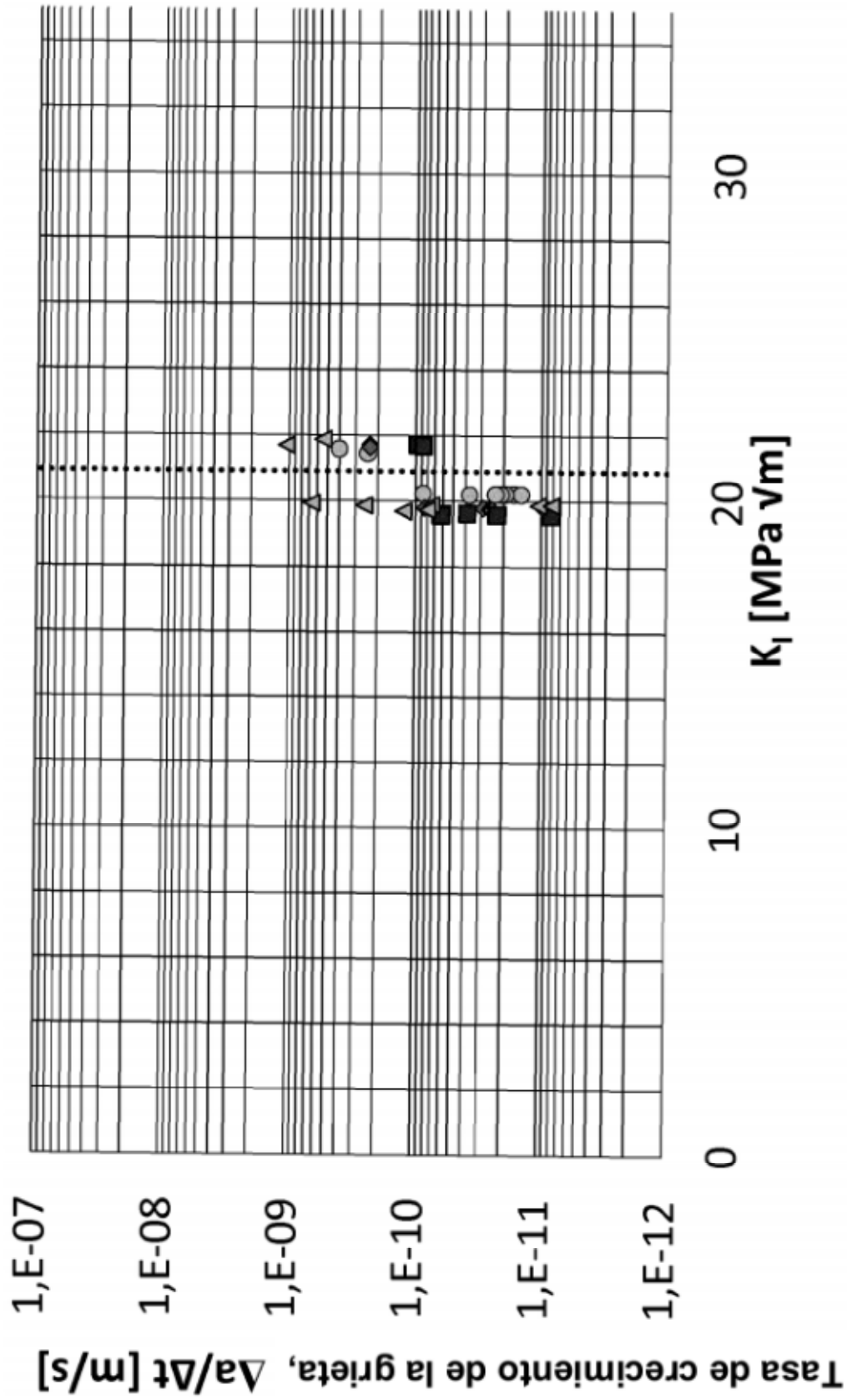


Figura 5

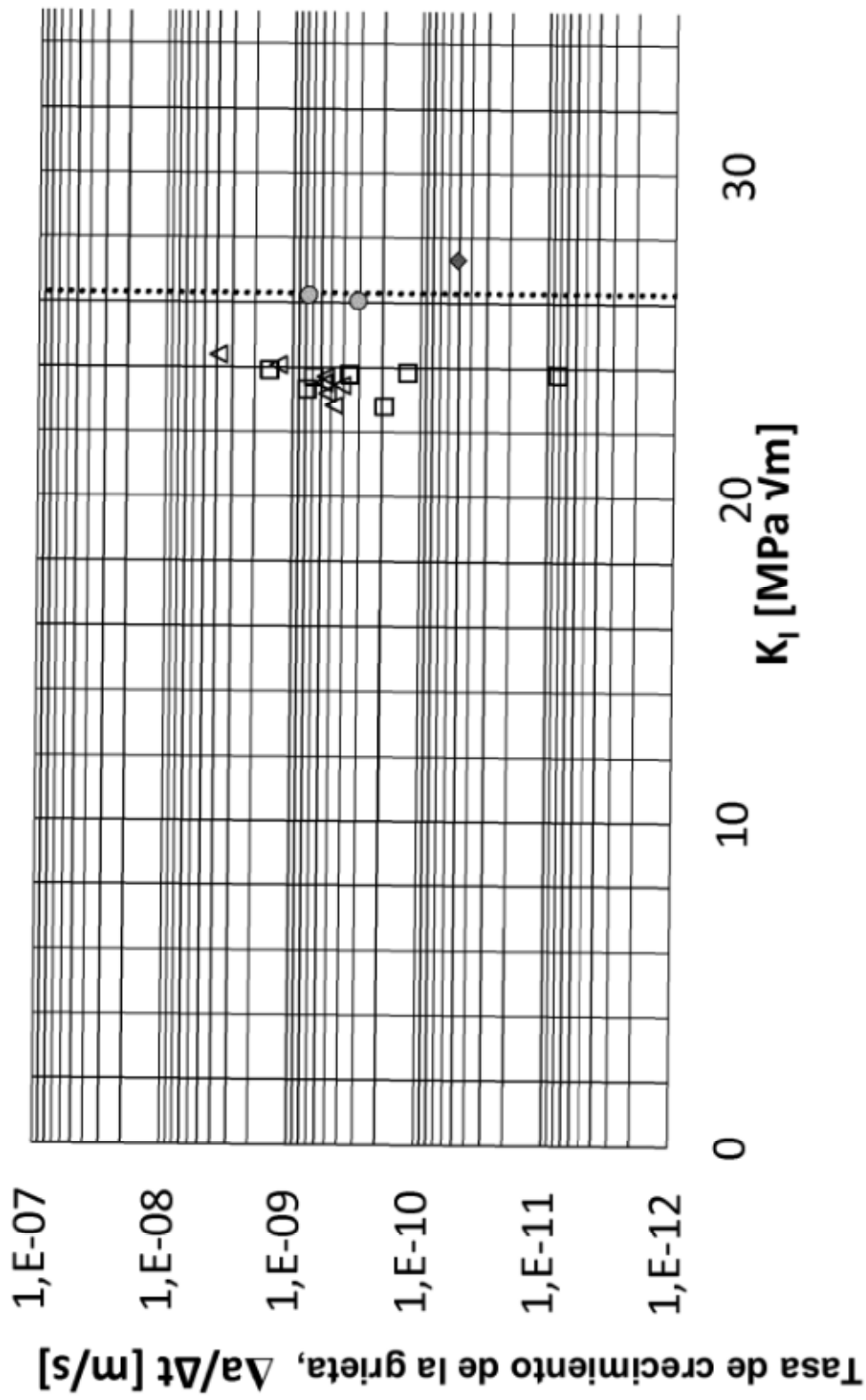


Figura 6