

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 405**

51 Int. Cl.:

**B21C 23/24** (2006.01)

**B32B 15/01** (2006.01)

**C22C 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.10.2013 PCT/EP2013/072744**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.05.2014 WO14068015**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2013 E 13785456 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018 EP 2914391**

54 Título: **Material compuesto de aluminio y procedimiento para su conformación**

30 Prioridad:

**30.10.2012 EP 12190672**

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

**20.12.2018**

73 Titular/es:

**HYDRO ALUMINIUM ROLLED PRODUCTS GMBH  
(100.0%)**

**Aluminiumstrasse 1  
41515 Grevenbroich, DE**

72 Inventor/es:

**BRINKMAN, HENK-JAN;  
KELLER, STEFAN;  
ENGLER, OLAF;  
HÖRSTER, NATALIE;  
SCHRÖDER, DIETMAR y  
ARETZ, HOLGER**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 694 405 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**

Material compuesto de aluminio y procedimiento para su conformación

5 La invención se refiere a un procedimiento para la conformación de una chapa de un material compuesto de aluminio, que presenta una aleación de núcleo de aluminio del tipo AlMg6 o AA6xxx y al menos una capa de aleación de aluminio exterior, prevista en uno o ambos lados, conformándose el material compuesto de aluminio en una herramienta de conformación y presentando la capa de aleación de aluminio exterior en uno o ambos lados un límite de alargamiento permanente  $R_{p0,2}$  en el estado de recocido blando o de solución de 25 MPa a 60 MPa.  
 10 Además, la invención se refiere a un uso del material compuesto de aluminio en un procedimiento correspondiente de conformación, así como a una pieza estructural de embutición profunda o de embutición o pieza de revestimiento exterior de un automóvil conformada con un procedimiento de acuerdo con la invención.

15 Los materiales de chapa de aleaciones de aluminio AA6xxx se emplean en el automóvil en la carrocería y para piezas adosadas de carrocería (puertas, tapas, capós, etc.). Las aleaciones empleadas habitualmente, tales como por ejemplo AA6016 o AA6014, muestran una buena capacidad de conformación en el estado suministrado (T4) como un significativo aumento de la resistencia después del ciclo de secado al horno del barniz, por ejemplo, en caso de un barnizado catódico por inmersión. En el estado T4, el material de chapa está recocido en solución. Para los componentes en la zona visible, las denominadas piezas de revestimiento exterior, otra condición para que se empleen las aleaciones de aluminio es un buen aspecto de la superficie, es decir, una calidad con poco *roping* (formación de estrías) o sin *roping*.  
 20 (formación de estrías) o sin *roping*.

25 Para componentes con elevadas exigencias a la capacidad de conformación están disponibles en el mercado materiales de aluminio que están optimizados con respecto a la capacidad de conformación y, al mismo tiempo, se pueden emplear para piezas de revestimiento exterior. No obstante, tampoco estas chapas optimizadas con respecto a la capacidad de conformación pueden resolver las nuevas exigencias a la capacidad de conformación. Actualmente, a causa del potencial de ahorro de peso de aluminio, se buscan soluciones de aluminio para componentes de revestimiento exterior que hasta ahora no se han podido fabricar a partir de aluminio. Por ejemplo, se desea fabricar piezas de pared lateral de gran superficie de un automóvil como un componente de una sola pieza a partir de una única chapa de aleación de aluminio. Las piezas de chapa de gran superficie de este tipo hasta ahora no se han podido producir a causa de la capacidad limitada de conformación de los materiales de aluminio. A causa de la falta de soluciones de aluminio, estos componentes de carrocería de gran superficie se fabrican a partir de acero o el componente se diseña como un componente de aluminio de varias piezas, lo que lleva a una complejidad aumentada en la producción debido a etapas adicionales de unión.  
 30 a partir de una única chapa de aleación de aluminio. Las piezas de chapa de gran superficie de este tipo hasta ahora no se han podido producir a causa de la capacidad limitada de conformación de los materiales de aluminio. A causa de la falta de soluciones de aluminio, estos componentes de carrocería de gran superficie se fabrican a partir de acero o el componente se diseña como un componente de aluminio de varias piezas, lo que lleva a una complejidad aumentada en la producción debido a etapas adicionales de unión.

35 El solicitante ha desarrollado un material que cumple con exigencias muy altas a la capacidad de conformación y se caracteriza por elevados valores de alargamiento en el estado T4. Este material compuesto de aluminio ya se ha mencionado en la solicitud internacional de patente WO 2013/037918 A1. Si bien es cierto que el procedimiento de producción del material tiene como objetivo una capacidad máxima de conformación del material, en la práctica eran visibles no obstante efectos de *roping* que se deben a la producción.  
 40 visibles no obstante efectos de *roping* que se deben a la producción.

45 Por el documento US 6.224.992 B1 se conoce una pieza de carrocería para un automóvil de un material compuesto. Un material de núcleo de una aleación de aluminio del tipo AA5xxx está provisto en este caso de una capa exterior de un material más blando, por ejemplo, una aleación de aluminio del tipo AA1xxx.

50 El objetivo de la presente invención es ampliar los límites de conformación de aleaciones de aluminio, en particular los límites de conformación de aleaciones de aluminio AA6xxx y AA5xxx interesantes para la construcción de automóviles, y facilitar un procedimiento de conformación que haga posible la producción de piezas de chapa de aleación de aluminio de gran superficie, muy conformadas, en particular también con calidad de revestimiento exterior. Además, se debe proponer un uso de un material compuesto de aluminio y facilitarse piezas de chapa producidas correspondientemente.

55 De acuerdo con una primera enseñanza de la presente invención se consigue el objetivo indicado mediante un procedimiento para la conformación de una chapa a partir de un material compuesto de aluminio al aplicarse para las tensiones de deformación permanente de las aleaciones de aluminio del núcleo y de la al menos una capa exterior en el estado de recocido blando o recocido de solución:

$$K_{f,exterior}/K_{f,núcleo} < 0,5, \text{ preferentemente } K_{f,exterior}/K_{f,núcleo} < 0,4,$$

60 durante la conformación del material compuesto de aluminio en al menos una posición local en la herramienta de conformación la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  entre la herramienta y el material compuesto de aluminio en la superficie de contacto alcanza la tensión de deformación plástica por cizalla  $K_{exterior}$  de la capa de aleación de aluminio exterior y la conformación comprende un proceso de embutición profunda y/o de estiramiento, usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AA6xxx y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8xxx o usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AlMg6 y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del  
 65 aleación del tipo AlMg6 y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del

tipo AA8079, AA1050, AA5005, AA5005A.

De acuerdo con la ley de fricción de Coulomb se aplica para la tensión de empuje por fricción en la superficie de contacto entre la herramienta de conformación y la capa de aluminio exterior del material compuesto de aluminio:

$$|\tau_R| = \min(k, \mu \cdot |p_N|) \quad (1),$$

representando  $\tau_R$  la tensión de empuje por fricción,  $\mu$  el coeficiente de fricción y  $p_N$  la presión normal de contacto o la presión superficial que genera la fricción y  $k$  la tensión de deformación plástica por cizalla de la capa exterior más blanda del material compuesto de aluminio.

Con la función (1) mencionada resultan para la magnitud absoluta de la tensión de empuje por fricción dos intervalos:

- 1.)  $\tau_R = \mu \cdot |p_N|$  con:  $\mu \cdot |p_N| < k$  y
- 2.)  $\tau_R = k$  con  $\mu \cdot |p_N| \geq k$ .

En el caso más sencillo,  $\mu$  permanece constante a lo largo de la conformación, de tal modo que en caso de una presión superficial creciente, la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  aumenta de forma lineal. Sin embargo, si  $\tau_R$  alcanza la tensión de deformación plástica por cizalla  $k$  del material que está en contacto con la herramienta de conformación, la tensión de empuje por fricción se limita a la tensión de deformación plástica por cizalla  $k$ .

Para la tensión de deformación plástica por cizalla  $k$  y la tensión de deformación permanente  $k_f$  de un material que se va a conformar se cumple ahora de acuerdo con la teoría de von Mises:

$$k = k_f / \sqrt{3},$$

correspondiéndose  $k_f$  con un 0,2 % de alargamiento plástico con el límite de alargamiento permanente  $R_{p0,2}$  establecido en el ensayo de tracción.

Está en contacto con la herramienta de conformación la capa de aleación de aluminio blanda exterior, cuya tensión de deformación permanente  $k_{f,exterior}$  y, por tanto, también su tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{exterior}$  es claramente mayor que la de la aleación de núcleo de aluminio  $k_{f,núcleo}$ . Para la tensión de empuje por fricción en el contacto entre la herramienta de conformación y el material compuesto de aluminio durante la conformación se cumple por tanto al menos en una posición local:

$$\tau_R = k_{exterior}.$$

A partir de esto es evidente que cuanto menor es el valor  $k_{exterior}$  de la tensión de deformación plástica por cizalla o de la tensión de deformación permanente  $k_{f,exterior}$  de la capa de aleación de aluminio exterior, menor es la fuerza de fricción opuesta a la dirección del movimiento del material en la herramienta. Como resultado, la chapa del material compuesto de aluminio en este caso se puede introducir más fácilmente por ejemplo en una herramienta de embutición profunda. Esto se cumple también para materiales compuestos de aluminio provistos en un lado de una capa de aleación de aluminio exterior, siempre que la capa de aleación de aluminio exterior más blanda se encuentre esencialmente en contacto con la herramienta de conformación.

Se ha encontrado que la combinación de materiales reivindicada compuesta de una aleación de aluminio del tipo AlMg6 o AA6xxx para la aleación de núcleo y una capa de aleación de aluminio blanda prevista en uno o ambos lados, que presenta una relación de tensión de deformación permanente con respecto a la aleación de aluminio de menos de 0,5, preferentemente de menos de 0,4, posibilita que durante la conformación del material compuesto de aluminio en al menos una posición local la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  en el material compuesto de aluminio alcance la tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{exterior}$  de la capa de aleación de aluminio exterior y limite la misma allí. De este modo se consigue en comparación con una chapa monolítica de la aleación de núcleo una capacidad de conformación claramente mejorada del material compuesto de aluminio.

A diferencia del documento WO 2013/037918 A1 de los inventores, se recorre un camino completamente nuevo, ya que la presente invención incluye en la enseñanza técnica la influencia en la tensión de empuje por fricción durante la conformación para la consecución de los grados de conformación. A diferencia de la anterior forma de proceder, a este respecto se aprovecha el efecto de que la tensión de empuje por fricción se limita por la tensión de deformación plástica por cizalla de la capa de aleación de aluminio exterior más blanda.

En ensayos de técnica de conformación con una herramienta en cruz a escala de laboratorio resultó que las fuerzas de pisador con una geometría idéntica de herramienta y condiciones comparables de lubricación se pudieron aumentar al menos en un factor 2,6, siempre que se observase la relación que se ha mencionado anteriormente de la tensión de deformación permanente  $k_{f,exterior}/k_{f,núcleo}$  de las aleaciones de aluminio que intervienen. La mayor fuerza

- de pisador posible en los ensayos de herramienta en cruz permiten deducir una capacidad de conformación claramente mejorada de los correspondientes materiales compuestos de aluminio, en particular en un proceso de embutición profunda. Ya que la tensión de deformación plástica por cizalla de la capa exterior más blanda en comparación con la tensión de deformación plástica por cizalla de la aleación de núcleo de aluminio es comparativamente baja, se reduce significativamente la tensión de empuje por fricción durante la conformación, lo que posibilita una mayor ventana del proceso. Esto crea la posibilidad de poder producir por ejemplo una pared lateral de una sola pieza de un automóvil a partir de aluminio con calidad de revestimiento exterior con una aleación de aluminio AA6xxx, por lo que resulta un gran potencial de ahorro de costes frente a una solución de aluminio de varias piezas.
- Lo mismo se aplica también a las aleaciones de núcleo de aluminio de AlMg empleadas en esencia en piezas interiores y piezas estructurales del tipo AlMg6, de tal manera que se pueden producir también piezas interiores y piezas estructurales de gran superficie, que requieren elevados grados de conformación.
- La conformación comprende un proceso de embutición profunda y/o de estiramiento. En estos procesos de conformación, la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  dificulta el movimiento relativo entre el material de chapa y la herramienta de conformación. Como ya se ha indicado anteriormente, la limitación de la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  a los valores bajos de la tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{\text{exterior}}$  de la capa de aleación de aluminio exterior más blanda conduce a un comportamiento mejorado de embutición profunda o de embutición. Con ello se pueden conseguir grados de conformación claramente mayores, ya que el material se puede introducir con menor fuerzas en la herramienta de conformación que produce el cambio de forma.
- Si, de acuerdo con otra forma de realización del procedimiento de acuerdo con la invención, la al menos una capa de aleación de aluminio exterior presenta preferentemente del 5 % al 15 % del espesor de todo el material compuesto de aluminio, se puede aprovechar el efecto técnico del procedimiento de acuerdo con la invención sin que se reduzca demasiado la resistencia del material compuesto de aluminio por las capas exteriores y su proporción en el espesor total del material compuesto de aluminio.
- Preferentemente se aumenta la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  durante la conformación por un aumento de la presión superficial hasta que la misma alcance la tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{\text{exterior}}$  de la capa de aleación de aluminio exterior en al menos una posición local en la herramienta de conformación. A diferencia de los anteriores procedimientos de conformación, en los que la presión superficial normalmente se selecciona justo tan grande que no aparezca ninguna formación de pliegues en la herramienta, se puede aumentar la presión superficial por ejemplo para conseguir el efecto ventajoso del material compuesto de aluminio con respecto a la ampliación de los límites de conformación. Además, es concebible que los materiales compuestos con una topografía superficial más económica con mayores valores de fricción, a pesar de esto, se puedan conformar con éxito. Se puede facilitar una topografía superficial más económica por ejemplo mediante una topografía superficial de "mill-finish" de la chapa, que con respecto a la topografía que presenta bolsillos de lubricante prevista habitualmente en caso de elevados grados de conformación ahorra una etapa de trabajo en forma de una etapa de laminación adicional para la aplicación de la topografía especial.
- Se consiguen resultados particularmente buenos de conformación de acuerdo con otra configuración del procedimiento al presentar la aleación de aluminio del tipo AA6xxx en el estado de recocido de solución o AlMg6 en el estado blando un alargamiento uniforme  $A_g$  de al menos el 20 %, preferentemente de al menos el 22 %. Son ejemplos de esto aleaciones de aluminio del tipo AA66016 en el estado T4 o la aleación de aluminio AA5182 en el estado O.
- Como materiales para las aleaciones de núcleo de aluminio se consideran además aleaciones de aluminio de tipo AA6xxx con un alargamiento a la rotura  $A_{80\text{mm}}$  de al menos el 24 %, preferentemente al menos el 26 % transversalmente con respecto a la dirección de laminación. En una realización sin o de poco *roping* también son particularmente adecuadas para componentes de revestimiento exterior de un automóvil con exigencias visuales en cuanto al aspecto superficial.
- Además se consideran para piezas estructurales, que no forman un componente visible de un vehículo, es decir, por ejemplo construcciones de bastidor, piezas interiores de puerta, brazos oscilantes compuestos, etc. también aleaciones de núcleo de aluminio de AlMg del tipo AlMg6 con un alargamiento uniforme  $A_g$  de al menos el 21 %, preferentemente de al menos el 22 %, así como un alargamiento a la rotura  $A_{80\text{mm}}$  de al menos el 25 %, preferentemente al menos el 26 % transversalmente con respecto a la dirección de laminación.
- Las aleaciones de núcleo de aluminio que se han mencionado anteriormente combinan resistencias muy altas con una capacidad ya muy buena de conformación, que se puede volver a aumentar claramente con el procedimiento de acuerdo con la invención.
- Si se usa como aleación de aluminio una aleación del tipo AA6xxx y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior una aleación de aluminio del tipo AA8xxx o si se usa como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AlMg6 y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior una aleación de aluminio del tipo

## ES 2 694 405 T3

AA8079, AA1050, AA5005, AA5005A, entonces con aleaciones establecidas se pueden producir materiales compuestos de aluminio que presentan propiedades extremadamente buenas de conformación.

En una realización particularmente preferente, la aleación de núcleo de aluminio es una aleación del tipo AA6016 y la al menos una capa de aleación exterior, una aleación del tipo AA8079. Esta combinación permite en los ensayos que se han mencionado anteriormente de herramienta en cruz una fuerza de pisador que supera en más de un factor 10 la de la variante monolítica AA6016. Estas propiedades mejoradas de conformación se consiguen en la herramienta en cruz no solo con un aumento de la fuerza de pisador, sino también con un diámetro aumentado de chapa redonda.

Si se conforma un material compuesto de aluminio con una aleación de núcleo de aluminio del tipo AA6xxx de acuerdo con otra configuración del procedimiento, que presenta un espesor de 0,5 mm a 2,0 mm, preferentemente de 0,8 mm a 1,5 mm, se pueden cumplir las exigencias a la resistencia que se presentan en la construcción de automóviles para piezas de revestimiento exterior junto con las exigencias aumentadas con respecto a la capacidad de conformación.

Lo mismo se aplica también a una aleación de núcleo de aluminio del tipo AlMg6 y al menos una capa de aleación de aluminio exterior del tipo AA1050 o AA5005 o AA5005A. En todas las combinaciones mencionadas de aleación, la relación de tensión de deformación permanente es  $k_{f,exterior}/k_{f,núcleo} < 0,5$ .

Si se conforma un material compuesto de aluminio con una aleación de núcleo del tipo AlMg6 de acuerdo con otra configuración del procedimiento, que presenta un espesor de 0,5 mm a 3,5 mm, preferentemente 1,0 mm a 2,5 mm, se pueden cumplir las exigencias a la resistencia planteadas a los componentes estructurales con una capacidad de conformación al mismo tiempo mejorada.

En la producción del material compuesto de aleación de aluminio se puede usar tanto un plaqueado por laminación como una colada simultánea. En el plaqueado por laminación, en primer lugar se cuele y homogeneiza un desbaste plano de laminación a partir del material de aleación de núcleo de aluminio. A continuación, la o las capas se componen con la aleación de aluminio hasta dar un paquete y se calientan a la temperatura de laminación en caliente. Como alternativa se puede realizar la homogeneización también después de la formación del paquete. A continuación, el paquete calentado se lamina en caliente y a continuación en frío hasta el espesor final.

En el caso de los materiales de AA6xxx se realiza la homogeneización del desbaste plano de laminación a una temperatura de 500 °C a 600 °C, preferentemente de 550 °C a 580 °C, durante más de una hora. La laminación en caliente se realiza, a diferencia de en la solicitud internacional de patente WO 2013/037918 A1 de los inventores, sin un enfriamiento brusco de la cinta de laminación en caliente con temperaturas de bobinado de 300 °C a 400 °C y un espesor típico de 5 a 10 mm. Para piezas de revestimiento exterior se lleva a cabo entonces una primera laminación en frío a de 3 a 4 mm con un posterior recocido intermedio, por ejemplo en un horno de cámara con una temperatura de metal de 370 °C a 450 °C durante al menos 1 h. Mediante un recocido de solución final en el espesor final a una temperatura típica de aproximadamente 500 °C a 570 °C con posterior enfriamiento brusco y extracción en frío aproximadamente a temperatura ambiente durante al menos tres días se pueden suministrar las cintas en el estado T4. Opcionalmente, las cintas directamente después del enfriamiento brusco se someten a un tratamiento térmico para acelerar el comportamiento de endurecimiento durante el barnizado catódico por inmersión.

En los materiales compuestos de aluminio basados en AlMg6 se usan temperaturas de recocido intermedio y temperaturas de recocido blando de 300 °C a 500 °C. Además, los materiales de AlMg6 no tienen que atravesar ningún proceso de enfriamiento brusco, de tal manera que se puede realizar el recocido blando final en el horno de cámara o en el horno de paso continuo. Como alternativa se pueden emplear materiales compuestos de aluminio basados en AlMg6 también directamente como cinta de laminación en caliente.

Como materiales se consideran por ejemplo para la capa de aleación de núcleo las aleaciones de aluminio AlMg6, AA6016, AA6014, AA6022, AA6451 y AA6111. Como capa de aleación de aluminio exterior se usan aleaciones de aluminio de AA8xxx, por ejemplo AA8011, AA8014, AA8021 y en particular AA8079 o AA1050.

De acuerdo con una segunda enseñanza de la presente invención se consigue el objetivo que se ha indicado anteriormente mediante el uso de un material compuesto de aluminio que presenta una capa de aleación de núcleo de una aleación de aluminio del tipo AlMg6 o AA6xxx y al menos una capa de aleación de aluminio exterior prevista en uno o ambos lados, que en el estado de recocido blando o de solución presenta un límite de alargamiento permanente  $R_{p0,2}$  de 25 MPa a 60 MPa con una relación de las tensiones de deformación permanente en el estado de recocido blando o de solución de

$k_{f,exterior}/k_{f,núcleo} < 0,5$ , preferentemente  $k_{f,exterior}/k_{f,núcleo} < 0,4$ , que se usa en un procedimiento de conformación en el que durante la conformación del material compuesto de aluminio en al menos una posición local en la herramienta de conformación la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  entre la herramienta y el material compuesto de aluminio en la superficie de contacto alcanza la tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{exterior}$  de la capa de aleación de aluminio exterior y la conformación comprende un proceso de embutición profunda y/ode estiramiento, usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AA6xxx y como al menos una capa de aleación de

aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8xxx o usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AlMg6 y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8079, AA1050, AA5005, AA5005A. El uso de los materiales compuestos de aluminio en un procedimiento de conformación de este tipo posibilita en particular la facilitación de piezas de chapa de una sola pieza de gran superficie para la construcción de automóviles, bien como pieza de revestimiento exterior con una aleación de núcleo de AA6xxx o como pieza estructural no visible con una aleación de núcleo de AlMg6 que necesitan grados de conformación particularmente elevados.

Finalmente se consigue el objetivo que se ha indicado anteriormente de acuerdo con una tercera enseñanza de la presente invención mediante una pieza estructural o pieza de revestimiento exterior de un automóvil conformada con el procedimiento de acuerdo con la invención, sometida a embutición profunda y/o de estiramiento. Como ya se ha indicado, el procedimiento de acuerdo con la invención posibilita facilitar piezas de chapa de gran superficie a partir de un único material compuesto de aluminio y evitar otras etapas de trabajo, tales como por ejemplo la unión de componentes de menor tamaño, que se tienen que unir hasta dar una unidad. Con ello se pueden poner a disposición componentes conformados claramente de mayor tamaño y más complejos.

En este caso, la pieza de chapa es una pieza estructural o una pieza de revestimiento exterior de un automóvil. Por ejemplo, la pieza de chapa puede ser una chapa de fondo compleja de un grupo de fondo o una pieza interior de puerta lateral, por ejemplo, cuando se usa un núcleo de aluminio del tipo AlMg6. Las piezas de revestimiento exterior tales como guardabarros, capó de motor y en particular paredes o

- bastidores laterales se pueden facilitar con un material compuesto de aluminio con una aleación de núcleo AA6xxx. Todas las piezas de chapa mencionadas requieren grados de conformación muy altos que se pueden conseguir con el procedimiento de conformación de acuerdo con la invención combinado con los materiales compuestos de aluminio indicados. Las posibilidades de uso de materiales de aluminio en el automóvil con ello se pueden aumentar de nuevo, ya que se pone a disposición un comportamiento no conseguido hasta la fecha de conformación en estos materiales.

A continuación se va a explicar con más detalle la invención mediante ejemplos de realización junto con el dibujo. El dibujo muestra en

La Fig. 1 en una representación del corte en perspectiva esquemática la herramienta en cruz para la realización de los ensayos de embutición profunda,

la Fig. 2 en una representación despiezada simplificada el punzón, pisador y la matriz de la herramienta en cruz de la Fig. 1,

la Fig. 3 en un diagrama la fuerza de punzón dependiendo del recorrido de punzón de la herramienta en cruz de la Fig. 1 de una variante monolítica del tipo AA6016,

la Fig. 4 el diagrama de la Fig. 3 en la realización de un ejemplo de realización del procedimiento de conformación de acuerdo con la invención,

la Fig. 5 en un diagrama las tensiones de deformación permanente  $k_f$  establecidas a partir de un ensayo de tracción dependiendo del alargamiento para los materiales AA6016, AA5005, AA6463A, AA8079, AA1050,

la Fig. 6 las tensiones de deformación permanente de los materiales de aluminio AA1050, AA8079, AA6463A, AA5005 en la relación con respecto a la tensión de deformación permanente de la aleación de aluminio AA6016,

la Fig. 7 en un diagrama las tensiones de deformación permanente del material AA8079 dependiendo del alargamiento en relación con la tensión de deformación permanente de distintas aleaciones de núcleo posibles del tipo AA6xxx,

la Fig. 8 en un diagrama las tensiones de deformación permanente  $k_f$  dependiendo del alargamiento para los materiales AlMg6, AA1050, AA5005,

la Fig. 9 en un diagrama las tensiones de deformación permanente de los materiales AA1050, AA5005 dependiendo del alargamiento en la relación con respecto a la tensión de deformación permanente del material de aluminio AlMg6,

las Fig. 10, 11 dos ejemplos de realización de piezas estructurales o de revestimiento exterior de acuerdo con la invención.

En la Fig. 1 está representada en primer lugar la configuración de la herramienta en cruz en una vista del corte en perspectiva, comprendiendo la herramienta en cruz un punzón 1, un pisador 2 así como una matriz 3. La chapa 4,

que en el caso de una variante plaqueada se ha plaqueado a ambos lados, presentaba por ejemplo un espesor de 1,5 mm. Eso se cumplía para la variante tanto plaqueada como la no plaqueada. La chapa prevista como chapa redonda se sometió a embutición profunda por la fuerza de punzón  $F_{St}$ , presionándose con la fuerza  $F_N$  en el pisador 2 y la matriz 3 sobre la chapa redonda. El punzón 1 en forma de cruz tenía a lo largo de los ejes de la cruz en cada caso una anchura de 126 mm, mientras que la matriz presentaba una anchura de abertura de 129,4 mm. La chapa redonda del material de aluminio presentaba diferentes diámetros. Se comenzó con un diámetro de chapa redonda de 195 mm.

En la Fig. 2 están representados de nuevo en una vista despiezada desde abajo el punzón 1, el pisador 2 así como la matriz 3 y la chapa 4. Con la herramienta en cruz se pueden simular esfuerzos del material durante ensayos de embutición profunda industriales y comprobarse de este modo el comportamiento de conformación del material que se va a ensayar. A este respecto, el punzón 1 se hizo descender con una velocidad de 1,5 mm por segundo en dirección de la chapa y la chapa 4 se sometió a embutición profunda de forma correspondiente a la forma de punzón. La fuerza del punzón y el recorrido del punzón hasta el desgarro de la muestra se midieron y se registraron.

En la Fig. 3 está representado el diagrama de fuerza-recorrido de la variante no plaqueada con un material de aleación de aluminio del tipo AA6016. Se puede reconocer que con el aumento de las fuerzas de pisador de 30 a 300 kN, la fuerza de punzón ya con 23 mm de recorrido de punzón aumenta un valor de más de 120 kN. Cuanto mayor es la fuerza del pisador, antes aumenta la fuerza del punzón. Con aproximadamente 26 mm de recorrido de punzón y una fuerza de pisador de 300 kN se produce un desgarro del material, lo que limita la capacidad de conformación de la variante no plaqueada. Si se reduce la fuerza de pisador, aumenta el recorrido del punzón a aproximadamente 35 mm con 75 kN de fuerza de pisador hasta que se desgarra el material. Con 30 kN no se produce ningún desgarro del material.

De la Fig. 3 se puede leer el procedimiento convencional para el ajuste de las fuerzas de pisador y, por tanto, de la fricción en el proceso de embutición profunda. El experto en la materia intentará mantener tan bajas como sea posible las fuerzas de pisador para que no se produzca un desgarro del material. Por otro lado, el experto en la materia intentará ajustar las fuerzas de pisado para que no se produzca una formación de pliegues. Pero el proceso de conformación está limitado por la aparición de desgarros con una fuerza dada del pisador.

La Fig. 4 muestra ahora el diagrama de fuerza-recorrido para la fuerza de punzón de acuerdo con un ejemplo de realización del procedimiento de conformación de acuerdo con la invención, siendo el material de chapa una variante plaqueada a ambos lados de tipo A2-K1-A2. La composición tanto de la variante no plaqueada representada en la Fig. 3 de tipo AA6016 como de la correspondiente variante plaqueada a ambos lados del diagrama en la Fig. 4 están representadas en la Tabla 1.

En la Fig. 4 se reconoce que la fuerza de punzón  $F_{St}$  está limitada a como máximo 100 kN, independientemente de la respectiva fuerza de pisador  $F_N$ , que se varió de 300 a 450 kN. No se mostraron desgarros en el procedimiento de conformación de acuerdo con la invención. El material se pudo someter a embutición profunda incluso con fuerzas de pisador de más de 300 kN con un recorrido de punzón de más de 35 mm sin desgarros. Esto significa que durante la conformación se limita la tensión de empuje por fricción del material que actúa en contra de la fuerza de punzón  $F_{St}$  y, de hecho, al valor de la tensión de deformación plástica por cizalla de la capa de aleación de aluminio exterior. Tampoco con la fuerza de punzón máxima de 450 kN se produce desgarro alguno del material compuesto de aluminio de la variante A2-K1-A2.

Los materiales compuestos de aluminio ensayados se produjeron del siguiente modo: se coló un desbaste plano de laminación compuesto por una aleación de aluminio del tipo AA6016 con la composición indicada en la Tabla 1, se homogeneizó a 580 °C durante más de 2 h y se cubrió con un material de plaqueado de las aleaciones A1, A2, A3, A4 a ambos lados y a continuación se plaqueó por laminación. A este respecto se fabricó la cinta de laminación en caliente con un espesor de 12 mm y una temperatura final de laminación en caliente de al menos 300 °C. A continuación, la cinta de laminación en caliente se recoció a una temperatura de cinta de 350 °C durante más de 2 h y se laminó en frío con 4 mm. Para la consecución de una calidad de revestimiento exterior, es decir, para evitar el denominado *roping*, en este espesor se produjo un recocido intermedio, presentando la cinta una temperatura de aproximadamente 350 °C durante 2 h. A continuación, la cinta del material compuesto de aluminio se laminó en frío a un espesor final de 1,5 mm y se sometió a un recocido de solución a de 500 °C a 570 °C con enfriamiento brusco, de tal manera estaban disponibles que las cintas de aleación de aluminio con la aleación de núcleo K1 para los ensayos posteriores en el estado T4 después de la extracción en frío a temperatura ambiente durante aproximadamente 2 semanas.

Los materiales compuestos de aluminio basados en un núcleo de aluminio de AlMg6 se produjeron del sistema modo: homogeneización de un desbaste plano de una aleación de AlMg6 a de 500 °C a 550 °C durante más de 2 h, estructuración del desbaste plano de laminación de plaqueado mediante aplicación a ambos lados de los materiales de plaqueado, posterior plaqueado por laminación a 12 mm de espesor, realización de un recocido de cinta de laminación en caliente a 350 °C durante más de 2 h, laminación en frío a un espesor de 4 mm, recocido intermedio de la cinta de laminación en frío a 350 °C durante más de 2 h y laminación en frío final a un espesor final de 1,5 mm. En lugar del recocido de solución se llevó a cabo un recocido blando en el horno de cámara a 350 °C durante 2

horas al final del recorrido de producción.

Tabla 1

Aleación	Denominación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti
AA 1050	A1	0,046	0,32	0,0034	0,0057	0,0036	0,0149
AA 8079	A2	0,089	0,86	0,0019	0,021	0,0022	0,0061
AA 6463A	A3	0,25	0,21	0,0014	0,078	0,34	0,016
AA 5005	A4	0,066	0,19	0,119	0,121	0,89	0,0039
AA 6016	K1	1,31	0,18	0,016	0,078	0,32	0,0166
AlMg6	K2	0,091	0,2	0,142	0,25	6,05	0,022

5 La Tabla 1 muestra los diferentes contenidos de aleación de los constituyentes esenciales de la aleación en porcentaje en peso. Las seis aleaciones presentan, aparte de aluminio y los constituyentes indicados de la aleación Si, Fe, Cu, Mn, Mg y Ti, impurezas que ascienden en solitario como máximo al 0,05 % en peso y en total como máximo al 0,15 % en peso. Evidentemente, todas las indicaciones en la Tabla 1 se entienden asimismo en % en peso.

10 En la Tabla 2 están documentados los parámetros mecánicos medidos de los tipos de aleación usados. Todas las indicaciones se establecieron en el estado de recocido blando o de solución de acuerdo con la norma DIN EN ISO 6892-1:2009.

15 Tabla 2

Aleación	Denominación	R <sub>p0,2</sub>	R <sub>m</sub>	A <sub>g</sub>	A <sub>g</sub> (rec.)	A <sub>80 mm</sub>	A <sub>80 mm</sub> (mano)	Valor n <sub>4-6</sub>	Valor f <sub>8-12</sub>
		MPa	MPa	%	%	%	%		
AA 1050	A1	26	74	27,9	28,7	38,6	39,4	0,270	1,180
AA 8079	A2	29	81	31,1	31,4	46,0	46,9	0,253	0,685
AA 6463A	A3	37	99	21,3	22,5	27,4	28,3	0,321	0,816
AA 5005	A4	45	113	24,7	24,0	30,2	31,1	0,243	0,941
AA 6016	K1	114	219	24	23,8	29,5	29,8	0,277	0,729
AlMg6	K2	156	308	23	22,2	25,9	26,9	0,301	0,676

20 En otro ensayo para las distintas combinaciones de aleación se establecieron las fuerzas máximas de pisador con un diámetro modificado de chapa redonda. Se mostró que en particular con la variante A2-K1-A2, que representa una aleación de aluminio del tipo AA6016 plaqueada a ambos lados con una capa de aleación de aluminio del tipo AA8079, se pudo aumentar adicionalmente el diámetro de la chapa redonda y no se presentaron desgarros hasta un diámetro de chapa redonda de 205 mm y una fuerza máxima de pisador de más de 105 kN. En caso de diámetros de chapa redonda de 195 mm o 200 mm no se pudo generar ningún desgarro ni siquiera con la máxima fuerza posible de pisador en el ensayo de conformación de 600 kN. Ya que la variante monolítica presentaba desgarros ya con un diámetro de chapa redonda de 195 mm y una fuerza máxima de pisador de 50 kN, esto demuestra  
25 la excelente capacidad de conformación de la variante plaqueada en el procedimiento de conformación de acuerdo con la invención. En la Tabla 3 están resumidos los resultados de ensayo de herramienta en cruz.

30 R<sub>p0,2</sub> se corresponde con el valor de k<sub>f</sub> con el 0,2 % de alargamiento plástico y se puede medir en el ensayo de tracción. En la Tabla 3 está registrada adicionalmente la relación k<sub>f,exterior</sub>/k<sub>f,núcleo</sub> con un alargamiento real de aproximadamente 0,025, que se obtiene de las Fig. 5 a 9 para la respectiva combinación de materiales.

Tabla 3

Variante	Relación R <sub>p0,2,exterior</sub> /R <sub>p0,2,núcleo</sub>	Relación k <sub>f,exterior</sub> /k <sub>f,núcleo</sub> (alargamiento real aprox. 0,025)		Fuerza máx. de pisador con diámetro de chapa redonda		
				195 mm	200 mm	205 mm
				F(kN)	F(kN)	F(kN)
K1 sin plaquear	-	-	comp.	50		
A1-K1-A1	0,23	0,34	comp.	159		
A2-K1-A2	0,25	0,38	inv.	> 600	> 600	105,0
A3-K1-A3	0,32	0,46	comp.	130		
A4-K1-A4	0,39	0,53	comp.	60		
K2 sin plaquear	-	-	comp.	75		
A1-K2-A1	0,17	0,27	inv.	> 600		
A4-K2-A4	0,29	0,45	inv.	> 600		

Las variantes de aleación de aluminio plaqueadas A1-K1-A1 así como A3-K1-A3 muestran asimismo un claro aumento con respecto a la máxima fuerza de pisador con un diámetro de chapa redonda de 195 mm. En comparación con la variante K1 no plaqueada aumentó la máxima fuerza de pisador, que en la variante no plaqueada K1 ascendió a 50 kN, en el factor 2,6 (variante A3-K1-A3) o en el factor 3,18 (variante A3-K1-A3). Por consiguiente, la variante A4-K1-A4 no posibilitó ningún aumento significativo de la máxima fuerza de pisador con respecto a la variante K1 no plaqueada.

Los valores de medición representados en las Fig. 5 a 9 se establecieron mediante ensayos de tracción transversalmente con respecto a la dirección de laminación de acuerdo con la norma DIN EN ISO 6892-1:2009. Está representada la tensión de deformación permanente  $k_f$  dependiendo del alargamiento real, obteniéndose el alargamiento real del siguiente modo:

$$\phi = \ln (1 + \epsilon),$$

indicando  $\phi$  el alargamiento real y  $\epsilon$  el alargamiento técnico.

Para la explicación, la Fig. 5 muestra curvas de tensión-alargamiento para distintos materiales, estando registrada la tensión de deformación permanente  $k_f$  frente al alargamiento real  $\phi$ . En la Fig. 5 se puede reconocer que el material de núcleo K1 presenta una tensión de deformación permanente claramente mayor que las capas de plaqueado exteriores A1, A2, A3 y A4.

En la Fig. 6 están representadas las relaciones de las tensiones de deformación permanente de las capas de aleación de aluminio exteriores en comparación con la tensión de deformación permanente de la capa de aleación de núcleo K1. Todas las variantes A1, A2 y A3 presentan una relación de  $k_{f,exterior}/k_{f,núcleo}$  de menos de 0,5. Únicamente la variante A4, una capa de aleación de aluminio exterior de tipo AA5005, tiene una relación de deformación permanente con respecto a una aleación de aluminio del tipo AA6016 que es mayor de 0,5.

Las fuerzas de sujeción máximas medidas con un diámetro de chapa redonda de 195 mm muestran que cuanto más blanda es la capa de aleación de aluminio exterior, mayor se hacen las fuerzas de pisador máximas con un diámetro constante de chapa redonda. Ya que en el caso del ensayo de embutición profunda se trata de una deformación plástica, no obstante, desempeña también un papel la consolidación de la capa de aleación de aluminio exterior.

Se puede observar un efecto marcado con respecto al aumento de la fuerza de pisador máxima en comparación con las variantes A1-K1-A1 y A2-K1-A2. De la aleación de aluminio del tipo AA8079 se sabe que la misma presenta con alargamiento plástico una solidificación relativamente reducida. Este efecto parece favorecer los resultados máximos que se pueden conseguir en los ensayos de herramienta en cruz. La combinación de una capa de aleación de aluminio del tipo AA6016 con una aleación de aluminio AA8079, es decir, la variante A2-K1-A2 a pesar de una mayor relación de tensión de deformación permanente en comparación con la variante A1-K1-A1 mostró un enorme aumento de las fuerzas de pisador a por encima de 600 kN incluso con un aumento del diámetro de chapa redonda a 200 mm. Actualmente se considera la explicación de este resultado que la consolidación de la capa de aleación de aluminio exterior de tipo AA8079 es menor que la del material de núcleo durante la deformación plástica y que por ello se favorece el flujo del material durante el proceso de conformación.

La Fig. 7 muestra las relaciones de las tensiones de deformación permanente  $k_{f,exterior}$  de una capa de aleación de aluminio exterior de tipo AA 8079 en relación con las tensiones de deformación permanente de distintas aleaciones de núcleo concebibles del tipo AA 6xxx. Todas las variantes presentan una relación de  $k_{f,exterior}/k_{f,núcleo}$  de menos de 0,5. Con ello cabe esperar que también estas combinaciones de aleaciones de núcleo AA 6xxx establecidas en el ámbito automovilístico con una capa de aleación de aluminio exterior de tipo AA 8079 presenten la mejora marcada que se ha mencionado anteriormente de la capacidad de conformación.

Se pudieron conseguir resultados similares también para otra aleación de núcleo del tipo AlMg6, cuyas curvas de tensión-alargamiento están representadas en comparación con las variantes A3 y A4 en la Fig. 8 en un diagrama. A su vez, la Fig. 9 muestra la relación de las tensiones de deformación permanente de las capas de aleación de aluminio exteriores A3 y A4 en relación con la capa de aleación de aluminio de núcleo de tipo K2. Ambos materiales compuestos de aluminio mostraron una fuerza máxima de pisador de más de 600 kN con un diámetro de chapa redonda de 195 mm, mientras que el material comparativo K2 no plaqueado mostró desgarros ya con un diámetro de chapa redonda de 195 mm y una fuerza máxima de pisador de 75 kN.

A partir de estos resultados es evidente que se posibilita un claro aumento del comportamiento de conformación mediante una selección acertada de la aleación de núcleo de aluminio y de la capa de aleación de aluminio exterior. Los enormes aumentos con respecto al comportamiento de conformación que se producen por la selección de los materiales compuestos de aluminio en combinación con el procedimiento de conformación de acuerdo con la invención posibilitan que se puedan facilitar grandes piezas de chapa, tales como por ejemplo la pieza de pared lateral representada en la Fig. 10 de un automóvil o incluso la chapa de fondo representada a modo de ejemplo en la Fig. 11 de un automóvil como una sola pieza a partir de una chapa compuesta de un material compuesto de aluminio

conformado con el procedimiento de acuerdo con la invención.

5 Los componentes producidos preferentemente según el procedimiento de acuerdo con la invención son por ejemplo piezas de revestimiento exterior visibles de una carrocería de un automóvil, en particular piezas de pared lateral, piezas exteriores de puerta o piezas exteriores de puerta de maletero, así como capós de motor, etc. de un automóvil, que se producen con una aleación de núcleo de aluminio de tipo AA6xxx. Además, preferentemente todas las demás piezas estructurales y de chasis, tales como piezas interiores de puertas, chapas de fondo, etc. que no son visibles y que necesitan asimismo grados muy altos de conformación para una fabricación rentable se fabrican con una aleación de núcleo de aluminio de tipo A5xxx, por ejemplo con una aleación de núcleo de aluminio AA5182.

10

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la conformación de un material compuesto de aluminio, que presenta una aleación de núcleo de una aleación de aluminio del tipo AlMg6 o AA6xxx y al menos una capa de aleación de aluminio exterior prevista en uno o ambos lados, conformándose el material compuesto de aluminio en una herramienta de conformación y presentando la capa de aleación de aluminio exterior en uno o ambos lados un límite de alargamiento permanente  $R_{p0,2}$  en el estado de recocido blando o de solución de 25 MPa a 60 MPa, **caracterizado por que** para las tensiones de deformación permanente de las aleaciones de aluminio del núcleo y de la al menos una capa exterior en el estado de recocido blando o de solución se cumple

$$k_{f,exterior}/k_{f,núcleo} < 0,5,$$

durante la conformación del material compuesto de aluminio en al menos una posición local en la herramienta de conformación, la tensión de empuje de fricción  $\tau_R$  entre la herramienta y el material compuesto de aluminio en la superficie de contacto alcanza la tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{exterior}$  de la capa de aleación de aluminio exterior y la conformación comprende un proceso de embutición profunda y/o de estiramiento, usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AA6xxx y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8xxx o usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AlMg6 y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8079, AA1050, AA5005, AA5005A.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** se conforma al menos una capa de aleación de aluminio exterior con un espesor del 5 % a 15 % de todo el material compuesto de aluminio.

3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** se aumenta la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  durante la conformación mediante un aumento de la presión superficial entre el material compuesto de aluminio y el pisador.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** se conforma una aleación de núcleo de aluminio del tipo AA6xxx o AlMg6, que presenta en el estado de recocido de solución o blando un alargamiento uniforme  $A_g$  de al menos el 20 %, preferentemente de al menos el 22 %.

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** se usa una aleación de núcleo de aluminio del tipo AA6016 y al menos una capa de aleación de aluminio exterior del tipo AA8079.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** se conforma un material compuesto de aluminio con una aleación de núcleo de aluminio AA6xxx con un espesor de 0,5 mm a 2,0 mm, preferentemente de 0,7 mm a 1,8 mm, de forma particularmente preferente de 0,8 mm a 1,5 mm o un material compuesto de aluminio con una aleación de núcleo de aluminio AlMg6 con un espesor de 0,5 mm a 3,5 mm, preferentemente de 1,0 mm a 2,0.

7. Uso de un material compuesto de aluminio que presenta una aleación de núcleo de una aleación de aluminio del tipo AlMg6 o AA6xxx y al menos una capa de aleación de aluminio exterior prevista a uno o ambos lados, la capa de aleación de aluminio exterior a uno o ambos lados presenta un límite de alargamiento permanente  $R_{p0,2}$  en el estado de recocido blando o de solución de 25 MPa a 60 MPa y para la relación de las tensiones de deformación permanente de las aleaciones de aluminio del núcleo y de la al menos una capa exterior en el estado de recocido blando o de solución se aplica

$$k_{f,exterior}/k_{f,núcleo} < 0,5$$

en un procedimiento de conformación en el que durante la conformación del material compuesto de aluminio en al menos una posición local en la herramienta de conformación la tensión de empuje por fricción  $\tau_R$  entre la herramienta y el material compuesto de aluminio en la superficie de contacto alcanza la tensión de deformación plástica por cizalla  $k_{exterior}$  de la capa de aleación de aluminio exterior y la conformación comprende un proceso de embutición profunda y/o de estiramiento, usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AA6xxx y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8xxx o usándose como aleación de núcleo de aluminio una aleación del tipo AlMg6 y como al menos una capa de aleación de aluminio exterior, una aleación de aluminio del tipo AA8079, AA1050, AA5005, AA5005A.

8. Pieza estructural o pieza de revestimiento exterior, sometida a embutición profunda o de estiramiento, de un automóvil conformada con un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6.

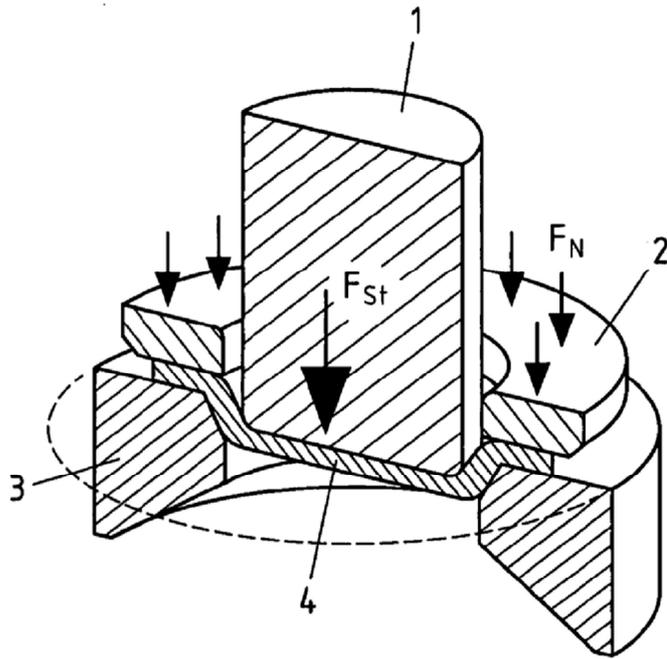


Fig.1

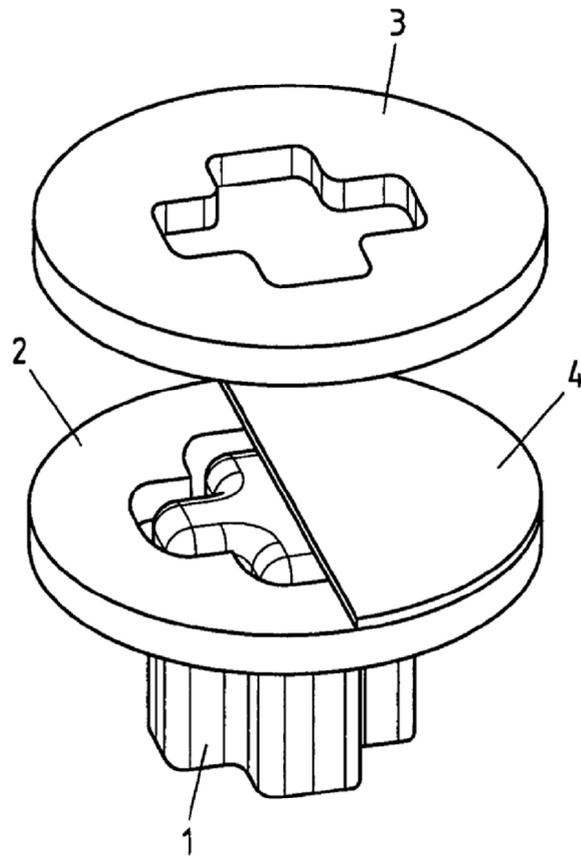


Fig.2

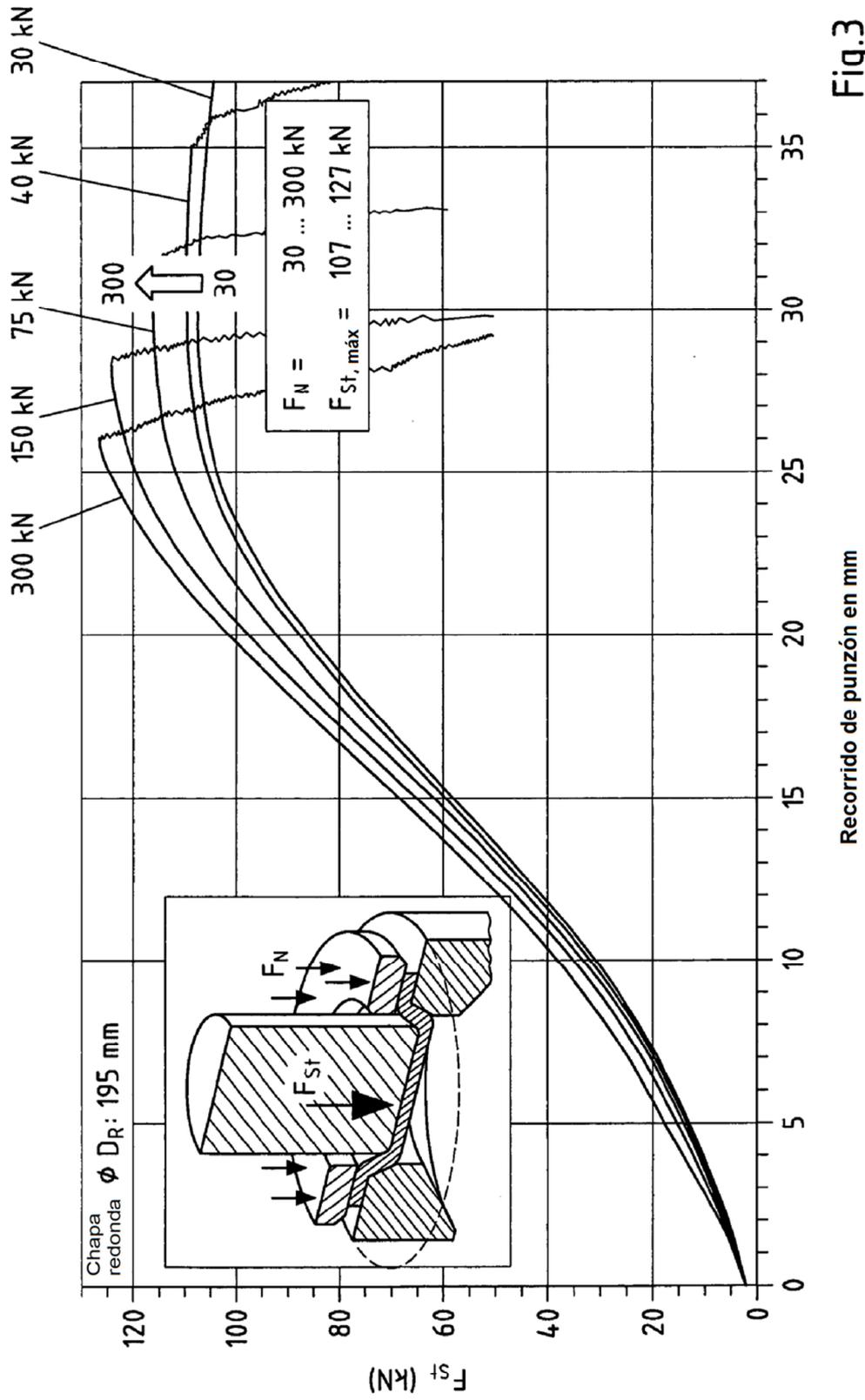


Fig.3

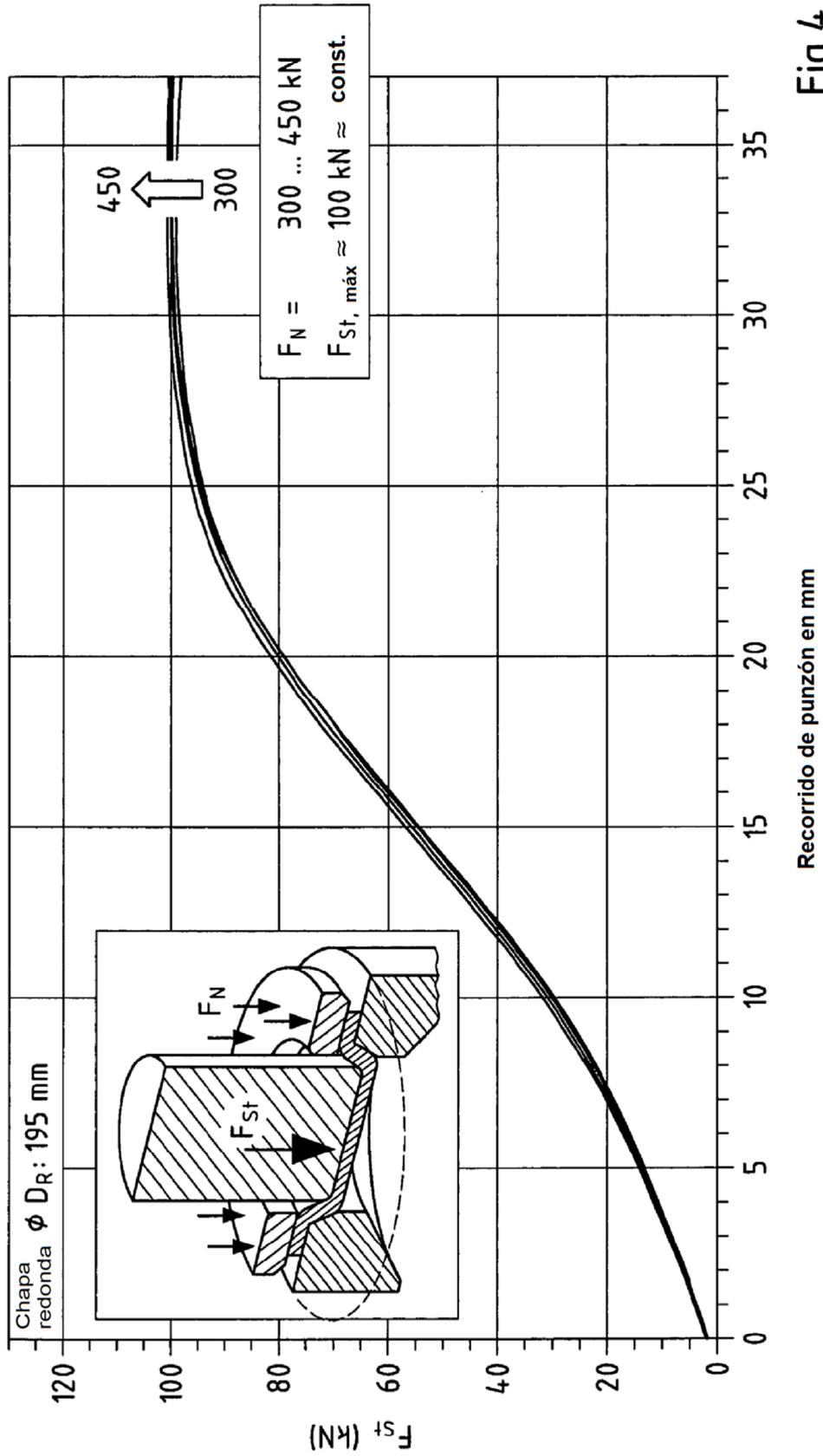


Fig.4

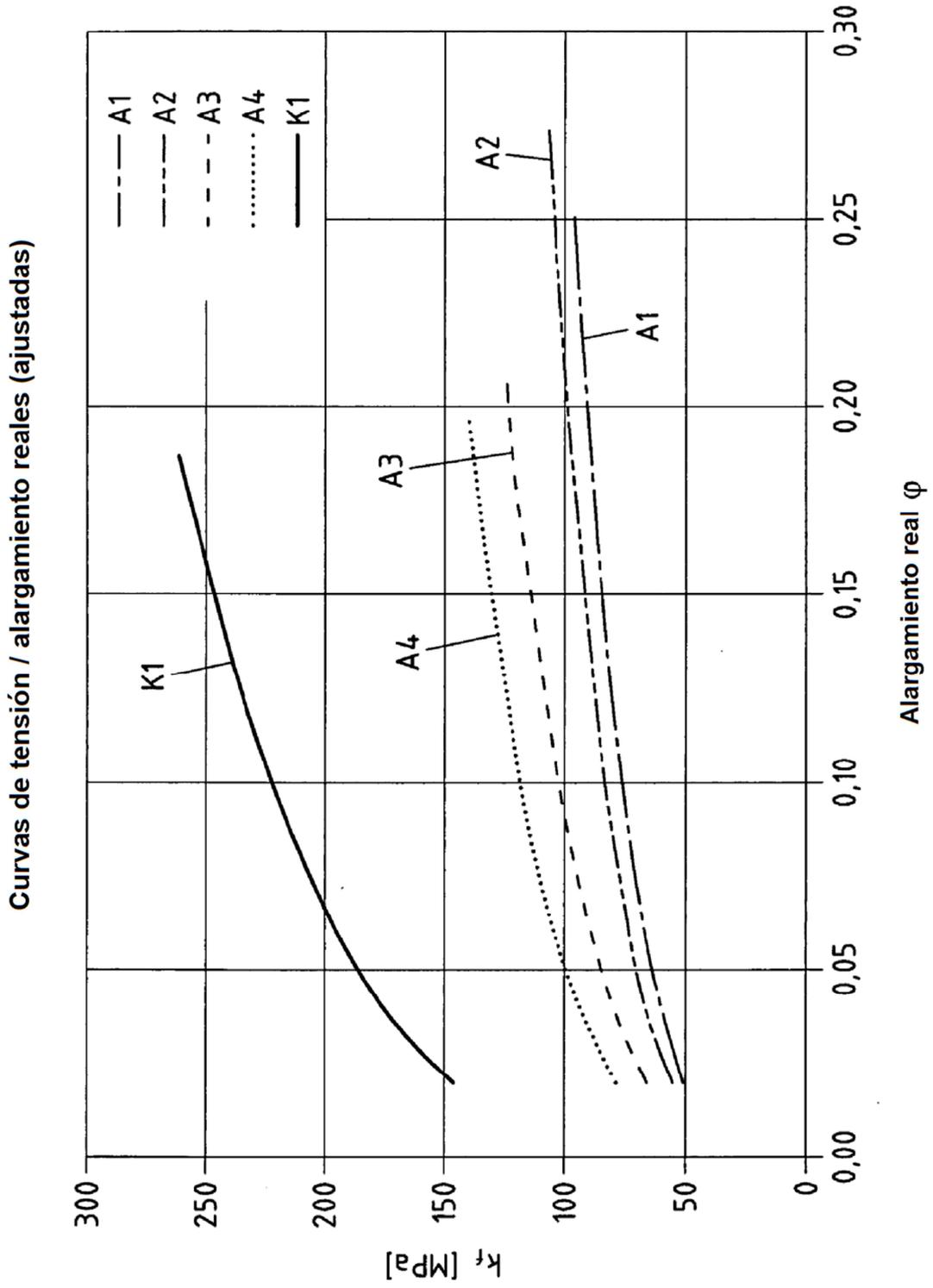


Fig.5

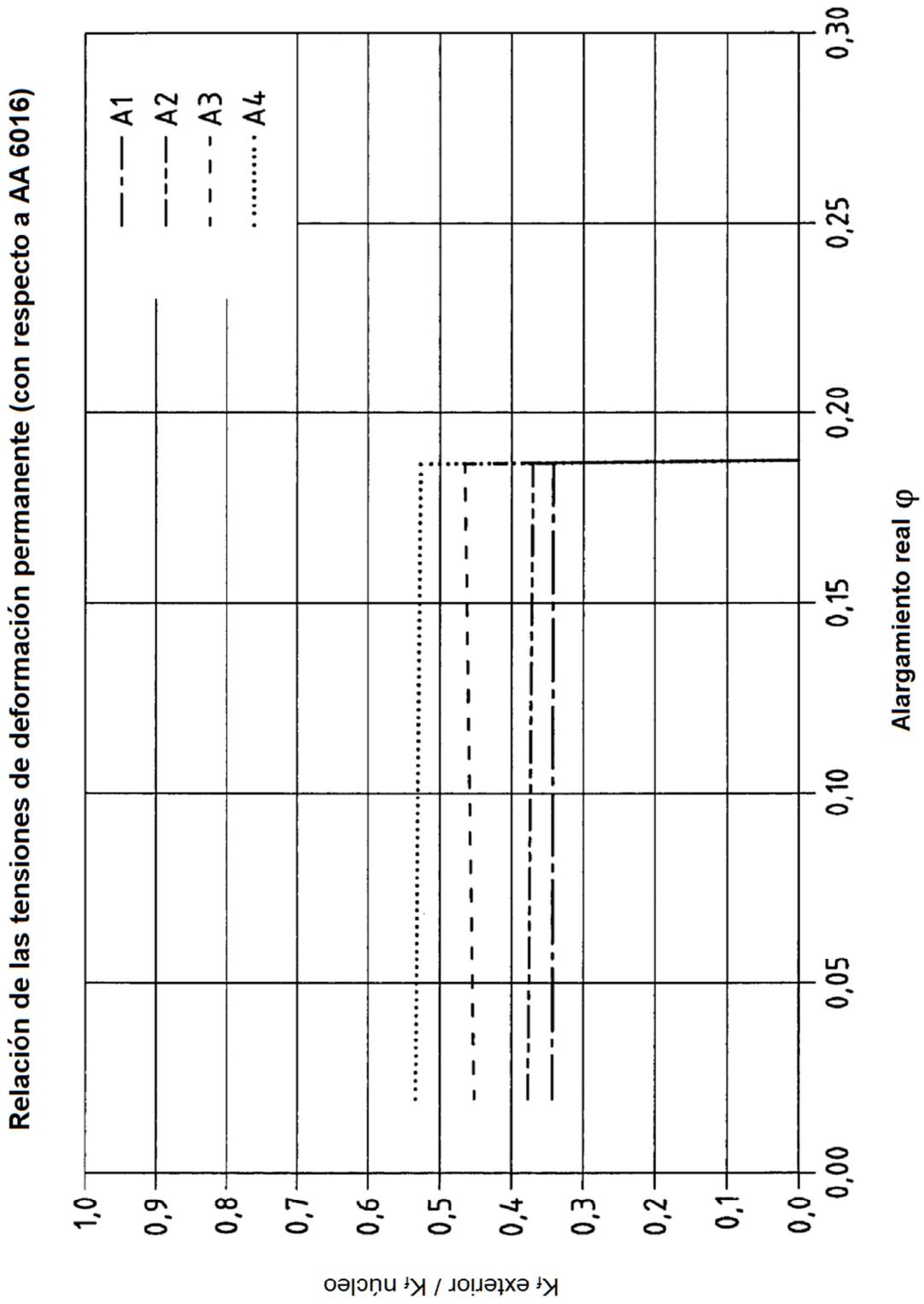


Fig.6

Relación de las tensiones de deformación permanente (con respecto a AA 8079)

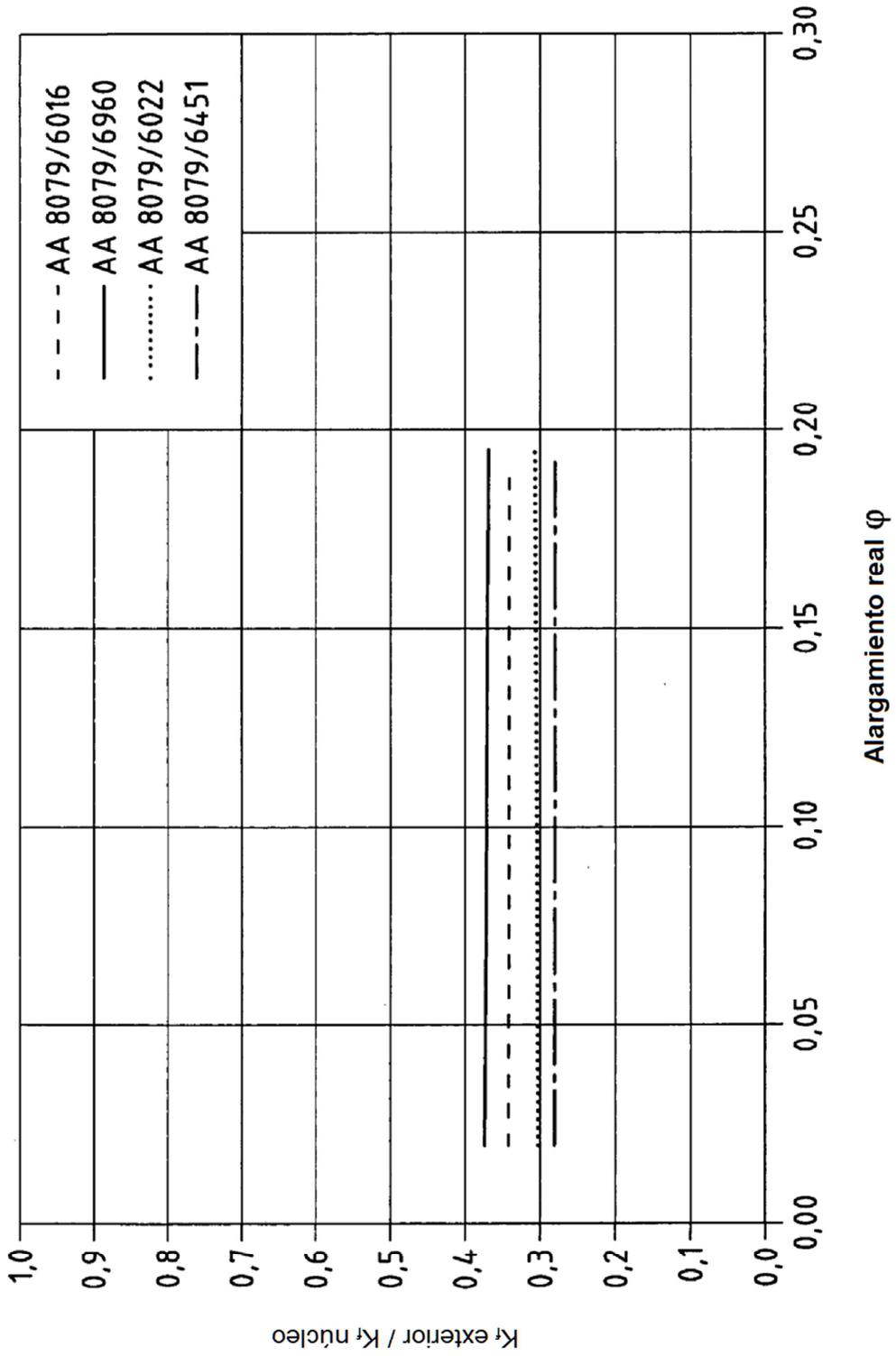


Fig.7

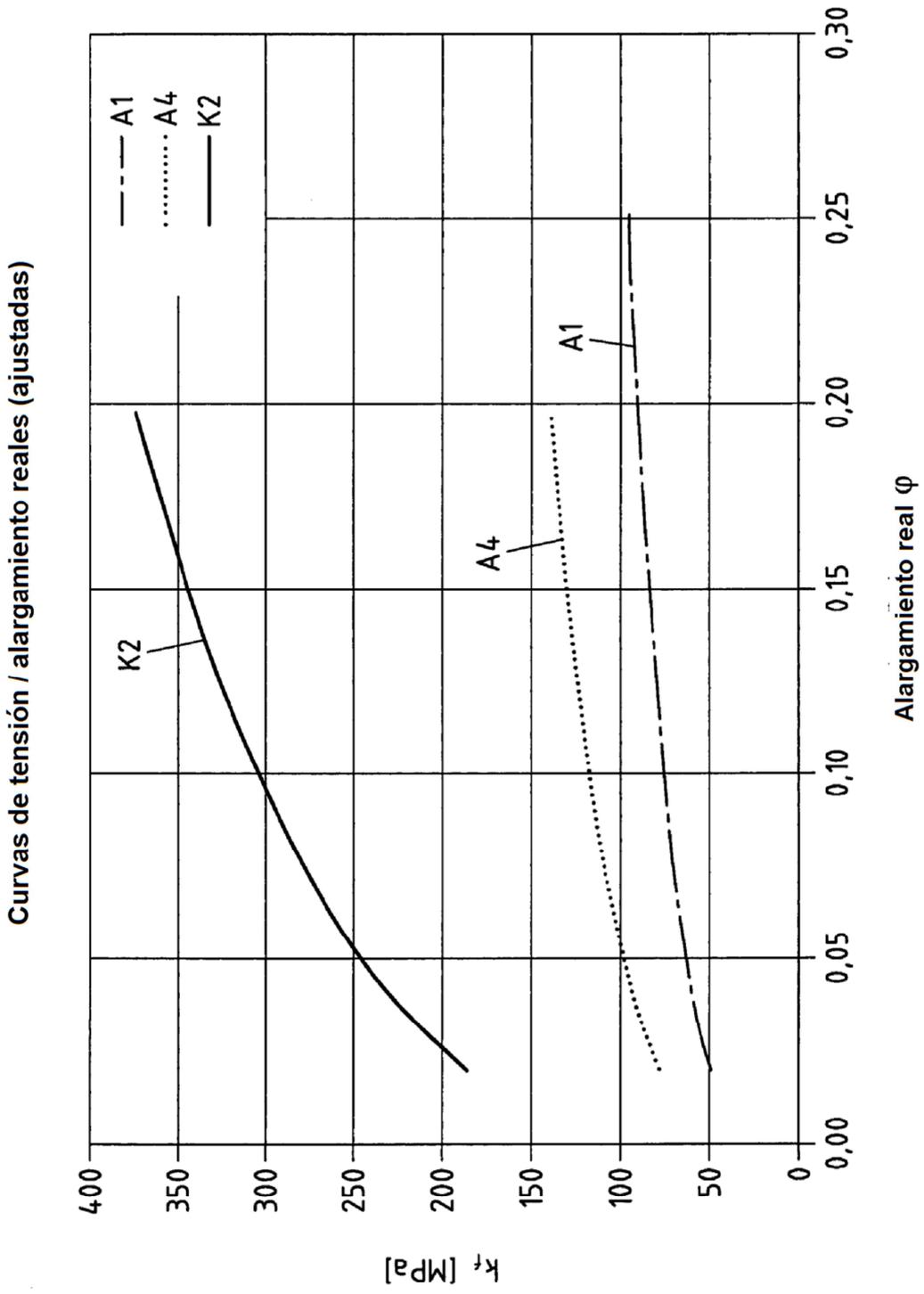


Fig.8

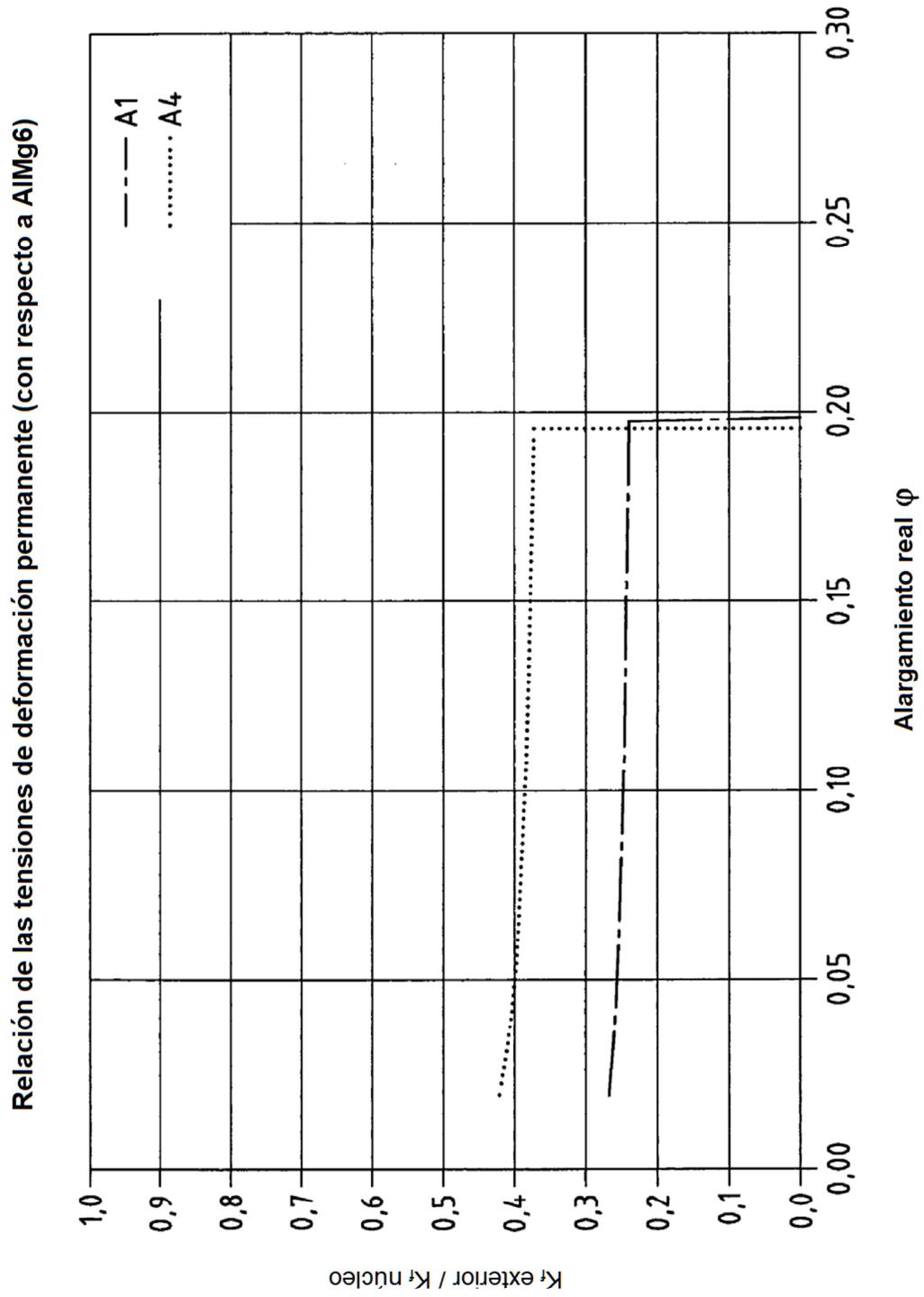


Fig.9

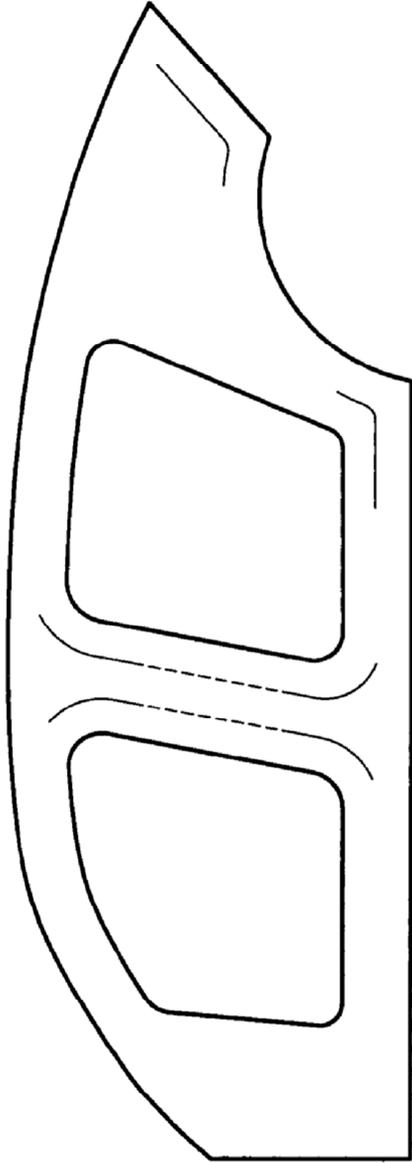


Fig.10

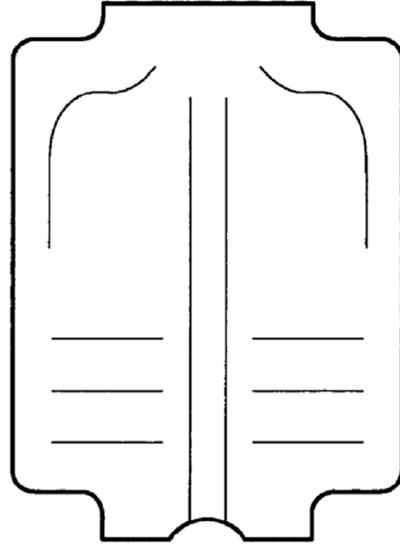


Fig.11