

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 905**

51 Int. Cl.:

C21D 1/673 (2006.01)

C21D 1/76 (2006.01)

C21D 9/56 (2006.01)

C23C 2/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2018** **PCT/EP2018/058717**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.10.2019** **WO19192703**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2018** **E 18726728 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 3775299**

54 Título: **Procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento a partir de un producto plano de acero**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2024

73 Titular/es:

THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG (50.0%)
Kaiser-Wilhelm-Strasse 100
47166 Duisburg, DE y
THYSSENKRUPP AG (50.0%)

72 Inventor/es:

LINKE, BERND;
KÖYER, MARIA y
RUTHENBERG, MANUELA

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 989 905 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

Procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento a partir de un producto plano de acero

La invención se refiere a un procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero mediante conformación en caliente de un producto plano de acero revestido con un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio. Además, la invención se refiere a una pieza constructiva de acero generada mediante conformación en caliente de un producto plano de acero revestido con un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio así como a un producto plano de acero para la producción de una pieza constructiva de acero de este tipo.

Los materiales con una buena estabilidad frente a la corrosión son necesarios para aplicaciones en la automoción o para otras aplicaciones industriales. Para ello son adecuados entre otras cosas productos que están constituidos por acero, que están dotados de un recubrimiento protector contra la corrosión. Dichos recubrimientos están constituidos por ejemplo por aluminio o aleaciones de aluminio o por zinc o aleaciones de zinc y protegen el sustrato de acero situado debajo frente a la corrosión, por un lado, debido a su efecto como barrera mecánica y, por otro, debido a su efecto protector catódico.

Cuando se habla en cuestión de productos planos de acero, ha de entenderse por esto, por ejemplo, una banda de acero o una chapa de acero o un recorte generado de una chapa de acero, como por ejemplo una pletina. Por pletina se entienden tablas de chapa que presentan por regla general suelen tener contornos más complejos que las bandas de acero o chapas de acero de las que proceden.

Cuando se habla en cuestión de un producto plano de acero revestido con un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio, entonces se trata de un producto plano de acero revestido al menos por un lado con un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio. Por lo tanto, un producto plano de acero revestido está constituido según esto por un sustrato de acero, que puede ser, por ejemplo, una banda de acero o una chapa de acero o un recorte generado a partir de una chapa de acero, como por ejemplo una pletina, y un recubrimiento anticorrosivo presente al menos en un lado del sustrato de acero.

Durante la conformación en caliente, los productos planos de acero se calientan y se enfrían en un molde. En principio, se distinguen dos tipos de conformación en caliente. En la denominada conformación en caliente directa, el producto plano de acero que va a conformarse se calienta en primer lugar y se coloca en una herramienta de conformación inmediatamente después del calentamiento, en la que se conforma y se enfría al mismo tiempo. En la conformación en caliente indirecta, el producto plano de acero que va a conformarse se conforma en primer lugar en frío en una primera herramienta de conformación, luego se calienta y, tras el calentamiento, se enfría en una segunda herramienta de moldeo, en la que sin embargo se conforma solo poco o ya nada en absoluto. En comparación con la conformación en caliente directa, la conformación en caliente indirecta ofrece la ventaja de un menor desgaste de la herramienta cuando se utilizan productos planos de acero sin revestimiento. La cascarilla que se forma en los productos planos de acero no revestidos durante el calentamiento roza las superficies de la herramienta de conformación, que debido a ello se desgasta más rápidamente. La formación de cascarilla y, por tanto, el desgaste de la herramienta pueden reducirse mediante revestimiento del producto plano de acero con un recubrimiento anticorrosivo.

Por el documento WO 2008/053273 A1 se conoce un procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio. A este respecto se calienta la pletina que va a conformarse, revestida con aluminio o una aleación de aluminio, con una velocidad de 4 a 12 °C/s, se mantiene a temperaturas de 880 - 940 °C durante 3 a 13 minutos, a continuación se transfiere a una herramienta de conformación, se conforma y se enfría con una velocidad de al menos 30 °C/s. Tras la conformación, el revestimiento de la pieza constructiva presenta una estructura multicapa con una capa de interdifusión, una capa intermedia, una capa intermetálica y una capa superficial. La capa de interdifusión está constituida por del 86-95 % de Fe, del 4-10 % de Al y hasta el 5 % de Si. La capa intermedia está constituida por del 39-47 % de Fe, del 53-61 % de Al y hasta el 2 % de Si. La capa intermetálica está constituida por del 62-67 % de Fe, del 30-34 % de Al y del 2-6 % de Si. La capa superficial está constituida por del 39-47 % de Fe, del 53-61 % de Al y hasta el 2 % de Si. La pieza constructiva presentará una buena soldabilidad y estabilidad frente a grietas.

Sin embargo, incluso cuando se utilizan productos planos de acero revestidos, el desgaste de las herramientas sigue siendo un problema que aumenta los costes de mantenimiento y reparación. Esto se aplica en particular a la conformación de productos planos de acero que están dotados de una capa anticorrosiva a base de aluminio.

Además del estado de la técnica descrito anteriormente, por el documento EP 2 993 248 A1 se conoce un producto plano de acero para un moldeado por presión en caliente, que está constituido por un sustrato de acero que se genera a partir de un acero que presenta del 0,1 - 3 % en peso de Mn y hasta el 0,01 % en peso de B y tiene un recubrimiento protector a base de Al aplicado sobre el sustrato de acero, que contiene opcionalmente en total hasta el 20 % en peso de otros elementos de aleación. Dado que el recubrimiento protector contiene en total del 0,005 - 0,7 % en peso al menos de un metal alcalinotérreo o de transición como parte constituyente de aleación adicional, debe minimizarse la absorción de hidrógeno durante el calentamiento necesario para una conformación en caliente. Para el moldeado por

presión en caliente, el producto plano de acero revestido de ese modo se somete a recocido en una atmósfera estándar, que por definición contiene un 20,9 % de oxígeno en volumen.

Por último, por el documento EP 1 767 286 A1 se conoce un procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero mediante moldeado por compresión en caliente de chapa de acero laminada en caliente o laminada en frío, que está dotada de un revestimiento protector a base de Al o a base de Zn y presenta una resistencia de al menos 1200 MPa después del moldeado. Con este procedimiento conocido también debe contrarrestarse la fragilidad por hidrógeno. La chapa de acero, cuyo sustrato de acero presenta del 0,05 % en peso al 0,5 % en peso de carbono, se calienta a una temperatura de recocido antes del prensado, que está limitada en sentido descendente por la temperatura Ac3 del acero del sustrato de acero y en sentido ascendente por 1100 °C. El calentamiento tiene lugar en una atmósfera del horno cuya concentración de hidrógeno asciende como máximo al 6 % en volumen y su punto de rocío asciende como máximo a 10 °C. Al procesar productos planos de acero revestidos de aluminio, el contenido de oxígeno de la atmósfera del horno se ajusta simultáneamente en cada caso a al menos el 21 % en volumen o como máximo el 1 % en volumen.

La invención se basa en el objetivo de facilitar un procedimiento que minimice el desgaste de una herramienta de conformación en la conformación en caliente directa para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio, que presente una idoneidad optimizada para el lacado, la adhesión y la soldadura.

Con respecto al procedimiento se soluciona este objetivo mediante un procedimiento con las características indicadas en la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas y preferentes del procedimiento de acuerdo con la invención están indicadas en las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1.

Un procedimiento de acuerdo con la invención para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio comprende al menos las siguientes etapas de procedimiento:

- a) facilitar un producto plano de acero dotado de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio;
- b) calentar el producto plano de acero revestido en un horno de conformación en caliente, cuya atmósfera del horno contiene del 16 % en volumen al 20 % en volumen de oxígeno y presenta un punto de rocío de -20 °C a +15 °C;
- c) sujetar opcionalmente el producto plano de acero revestido en el horno de conformación en caliente;
- d) transportar el producto plano de acero calentado desde el horno de calentamiento hasta una herramienta de conformación y colocar el producto plano de acero en la herramienta de conformación;
- e) conformar y enfriar de manera simultánea el producto plano de acero en la herramienta de conformación.

En un procedimiento de acuerdo con la invención, se facilita un producto plano de acero en la etapa de procedimiento a), que está dotado de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio. En el caso del acero usado para el sustrato de acero del producto plano de acero se trata preferentemente de un acero que está constituido por del 0,1 - 0,4 % en peso de C, preferentemente del 0,15 - 0,3 % en peso de C, de manera especialmente preferente del 0,19 - 0,25 % en peso de C, del 0,5 - 3,0 % en peso de Mn, preferentemente del 0,9 - 1,6 % en peso de Mn, del 0,05 - 0,5 % en peso de Si, preferentemente del 0,15 - 0,4 % en peso de Si, del 0,01 - 0,2 % en peso de Al, preferentemente del 0,01 - 0,1 % en peso de Al, del 0,005 - 1,0 % en peso de Cr, preferentemente del 0,1 - 0,4 % en peso de Cr, del 0,0005 - 0,01 % en peso de B, del 0,001 - 0,2 % en peso de V, preferentemente del 0,001 - 0,010 % en peso de V, de manera especialmente preferente del 0,002 - 0,006 % en peso de V, del 0,001 - 0,1 % en peso de Ti, del 0,001 - 0,1 % en peso de Nb, opcionalmente del 0,01 - 0,4 % en peso de Ni, opcionalmente del 0,01 - 0,8 % en peso de Cu, opcionalmente del 0,002 - 1,0 % en peso de Mo, opcionalmente del 0,001 - 1,0 % en peso de W, hasta el 0,01 % en peso de N, y como resto por hierro e impurezas inevitables, en donde pueden atribuirse a las impurezas inevitables hasta el 0,1 % en peso de P y hasta el 0,05 % en peso de S.

Normalmente, los sustratos de acero especialmente adecuados para la presente invención presentan un espesor de 0,4 a 3 mm.

Si se realizan en cuestión indicaciones con respecto a contenidos de aleaciones y composiciones de fases líquidas o sólidas, éstas se refieren al peso o a la masa, a menos que se indique expresamente lo contrario. Si se realizan en cuestión indicaciones con respecto a composiciones de la atmósfera, éstas se refieren al volumen, a menos que se indique expresamente lo contrario.

El recubrimiento anticorrosivo presente sobre el sustrato de acero está constituido por aluminio puro o por una aleación de aluminio. Las aleaciones de aluminio adecuadas están constituidas a este respecto normalmente por del 3 - 15 % en peso de Si, preferentemente del 7 - 12 % en peso de Si, de manera especialmente preferente del 9 - 10 % en peso de Si así como opcionalmente uno o más elementos seleccionados del grupo que está constituido por hierro, metales de transición distintos del hierro, metales alcalinotérreos o mezclas de los mismos, en los siguientes contenidos: del 2 - 3,5 % en peso de Fe, del 0,05 - 2 % en peso de metales de transición distintos del Fe, preferentemente del 0,1 - 0,5 % en peso de metales de transición distintos del Fe, de manera especialmente preferente del 0,15 - 0,4 % en peso de metales de transición distintos del Fe, del 0,05 - 2 % en peso de metales alcalinotérreos, preferentemente del 0,1 - 0,5

% en peso de metales alcalinotérreos, de manera especialmente preferente del 0,15 - 0,4 % en peso de metales alcalinotérreos, y como resto por aluminio e impurezas inevitables. En el caso de metales de transición se distingue en cuestión entre hierro y otros metales de transición, porque el hierro puede estar presente en mayores contenidos que otros metales de transición. El hierro, otros metales de transición y también los elementos del grupo de los metales alcalinotérreos dan lugar a una capa de óxido compacta, fina y opaca que reduce la penetración del hidrógeno difusible. A este respecto han resultado especialmente adecuados los siguientes metales alcalinotérreos o bien de transición: Mg, Ca, Sr, Ba, Zr y Ti.

El recubrimiento anticorrosivo puede aplicarse sobre el sustrato de acero de manera convencional, por ejemplo mediante un proceso de revestimiento por inmersión en fundido. También son concebibles otros métodos de aplicación que permitan aplicar una capa anticorrosiva. Un recubrimiento anticorrosivo adecuado tiene normalmente un espesor de como máximo 30 µm por lado, en particular un espesor de 10 a 30 µm por lado.

En la etapa de procedimiento b) se calienta el producto plano de acero revestido para la conformación en caliente, que se lleva a cabo en la etapa de procedimiento e). La invención se basa en el conocimiento de que el desgaste de la herramienta de conformación se ve influido por la composición de la atmósfera del horno de calentamiento. El horno de calentamiento también se designa como horno de conformación en caliente, porque en éste se calienta el sustrato de acero revestido antes del proceso de conformación en caliente y para el proceso de conformación en caliente. Un ejemplo preferido de un horno de conformación en caliente es un horno con solera de rodillos. A partir de una proporción de oxígeno del 6 % en volumen en la atmósfera del horno, se forma una capa de óxido de aluminio sobre el recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio. En presencia de nitrógeno, se forman partículas de nitruro de aluminio (AlN) en forma de varillas o agujas en la superficie del producto plano de acero revestido, adicionalmente a la capa de óxido de aluminio. La AlN presenta en general una dureza muy elevada. La dureza de la AlN asciende normalmente a aproximadamente 1230 HV1. Si estas varillas o agujas de AlN crecen más allá de la capa de óxido de aluminio, dañan la superficie de la herramienta de conformación durante el proceso de conformación y originan un mayor desgaste de la herramienta de conformación. Puede observarse un desgaste especialmente elevado en caso de proporciones de hasta el 13 % en volumen de oxígeno. El desgaste de la herramienta se reduce a medida que aumenta el contenido de oxígeno.

La invención se basa en el conocimiento de que a partir de contenidos de oxígeno en la atmósfera del horno de conformación en caliente de al menos el 16 % en volumen, la formación de las varillas de AlN está impedida de tal manera que se presentan significativamente menos varillas de AlN crecidas más allá de la capa de óxido de aluminio que con contenidos inferiores al 16 % en volumen de oxígeno. El calentamiento del producto plano de acero revestido en la etapa de procedimiento b) tiene lugar, por tanto, en un horno de conformación en caliente cuya atmósfera contiene al menos el 16 % en volumen, preferentemente al menos el 18 % en volumen, de manera especialmente preferente al menos el 19 % en volumen de oxígeno.

En atmósferas con al menos el 16 % en volumen de oxígeno, se forman regularmente capas de óxido de aluminio con un espesor medio de 50 nm y más. Dado que el espesor de la capa de óxido de aluminio puede variar sobre la superficie que cubre la capa de óxido de aluminio, se entiende en cuestión por el espesor medio de la capa de óxido de aluminio el valor medio aritmético de al menos tres valores de espesor determinados en diferentes puntos de la capa de óxido de aluminio. Las capas de óxido de aluminio con un espesor medio de al menos 50 nm han demostrado ser favorables para reducir el desgaste de la herramienta. Se supone que las capas de óxido de aluminio con un espesor medio de al menos 50 nm tienen un efecto de nivelación. Esto significa que las varillas AlN no crecen más allá de este espesor de capa. Además, las capas de óxido de aluminio de al menos 50 nm de espesor medio, preferentemente al menos 100 nm de espesor medio, han demostrado ser beneficiosas para evitar el apelmazamiento de la herramienta sobre la pieza moldeada así como para reducir el rayado de la herramienta, ya que la capa de óxido de aluminio actúa como agente separador entre la herramienta de conformación y la superficie del producto plano de acero que va a conformarse y separa las partes constituyentes de fase líquida de la superficie de la herramienta en el caso de productos planos de acero insuficientemente recocidos. Los recubrimientos anticorrosivos a base de aluminio en los que se han formado capas de óxido de aluminio de al menos 50 nm de espesor medio contienen normalmente $\text{Fe}(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$, $\text{Fe}_3(\text{Al},\text{Si})_5$, Fe_2Al_5 y $\text{Fe}_3(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$.

Las capas de óxido de aluminio opacas han demostrado ser especialmente eficaces para reducir el desgaste de la herramienta. Por capas de óxido de aluminio opacas se entiende en cuestión capas de óxido de aluminio que cubren completamente la superficie del recubrimiento anticorrosivo. Por el contrario, con contenidos de oxígeno inferiores al 16 % en volumen, se forman capas de óxido con un espesor medio inferior a 50 nm. Éstas no son opacas con frecuencia, lo que repercute negativamente en el desgaste de la herramienta.

En principio, una atmósfera del horno de hasta el 100 % en volumen de oxígeno en volumen sería posible para reducir la formación de AlN. Sin embargo, el oxígeno puro es muy explosivo. Para mejorar la idoneidad para la soldadura y la idoneidad para el lacado y la adhesión, la proporción de oxígeno de la atmósfera del horno está limitada a como máximo el 20 % en volumen.

En una realización preferida, la atmósfera del horno de conformación en caliente contiene al menos el 50 % en volumen de nitrógeno además de oxígeno para reducir la explosividad de la atmósfera del horno. De manera correspondiente

a la proporción mínima de oxígeno de acuerdo con la invención, la proporción de nitrógeno en la atmósfera del horno asciende preferentemente a menos del 84 % en volumen, de manera especialmente preferente a menos del 82 % en volumen, de manera muy especialmente preferente a menos del 81 % en volumen. En esta realización preferida, es posible facilitar un procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento de protección contra la corrosión a base de aluminio, en la que el desgaste de la herramienta de conformación puede minimizarse a pesar de la presencia de nitrógeno en la atmósfera del horno.

En otra realización preferida, la atmósfera del horno de conformación en caliente está constituida por al menos el 16 % en volumen de oxígeno, de manera especialmente preferente al menos el 18 % en volumen de oxígeno, de manera muy especialmente preferente al menos el 19 % en volumen de oxígeno, y como resto en cada caso por nitrógeno e impurezas inevitables.

En otra realización preferida, uno o más gases nobles pueden añadirse también a la atmósfera del horno de conformación en caliente adicionalmente al oxígeno y nitrógeno en proporciones de hasta el 1,5 % en volumen, de modo que la atmósfera del horno de conformación en caliente esté constituida por al menos el 16 % en volumen de oxígeno, de manera especialmente preferente al menos el 18 % en volumen de oxígeno, de manera muy especialmente preferente al menos el 19 % en volumen de oxígeno, hasta el 1,5 % en volumen de uno o más gases nobles, y como resto en cada caso por nitrógeno e impurezas inevitables.

En otra realización preferida, pueden añadirse uno o más gases nobles a la atmósfera del horno de conformación en caliente sin añadir proporciones apreciables de nitrógeno, de modo que la atmósfera del horno de conformación en caliente esté constituida por al menos el 16 % en volumen de oxígeno, de manera especialmente preferente al menos el 18 % en volumen de oxígeno, de manera muy especialmente preferente al menos el 19 % en volumen de oxígeno, y como resto en cada caso por gases nobles e impurezas inevitables.

En todas las formas de realización, la atmósfera del horno puede estar contaminada con otros gases en proporciones de hasta el 1,1 % en volumen. Además, la atmósfera del horno de conformación en caliente también puede contener vapor de agua con un contenido de agua de 0,5 a 15 g/m³.

Por razones de seguridad, se prefieren atmósferas de horno cuya composición no sea explosiva ni nociva para la salud.

Para garantizar proporciones de oxígeno de acuerdo con la invención en el horno de conformación en caliente, el punto de rocío TP de la atmósfera del horno se ajusta a valores entre -20 °C y +15 °C, preferentemente a valores entre -15 °C y +15 °C. Un punto de rocío inferior a -20 °C conduce a una reducción de la proporción de oxígeno en el horno de conformación en caliente, mientras que valores superiores a +15 °C pueden provocar un aumento de la absorción de hidrógeno.

En una realización preferida, puede conseguirse una mayor reducción del desgaste de la herramienta, sin embargo también una mejora de la idoneidad para la soldadura así como de la idoneidad para el lacado y la adhesión si la relación de la proporción en volumen de nitrógeno, V(N₂), con respecto a la proporción en volumen de oxígeno, V(O₂), asciende a de 3,80 a 5,30 durante el calentamiento en la etapa b) en el horno de conformación en caliente:

$$3,80 \leq V(N_2) / V(O_2) \leq 5,30$$

con V(N₂) = volumen de nitrógeno en el horno de conformación en caliente en % en volumen, V(O₂) = volumen de oxígeno en el horno de conformación en caliente en % en volumen. Las relaciones de nitrógeno con respecto a oxígeno de 4,0 a 5,2 han demostrado ser a este respecto especialmente eficaces.

En otra realización preferida, el producto plano de acero se calienta a una temperatura T1 que asciende a entre 830 y 950 °C, preferentemente a entre 900 y 950 °C, en un horno de conformación en caliente con temperaturas de horno de entre 830 y 950 °C en la etapa de trabajo b). El calentamiento se realiza preferentemente en un horno continuo, de manera especialmente preferente en un horno con solera de rodillos. La temperatura del horno corresponde a este respecto a la temperatura a la que debe calentarse el producto plano de acero. Normalmente, el producto plano de acero se introduce en el horno de conformación en caliente a temperatura ambiente. Los tiempos de permanencia de 2 a 15 minutos para el producto plano de acero en el horno de conformación en caliente han demostrado ser especialmente favorables.

Opcionalmente, el producto plano de acero puede mantenerse a esta temperatura en la etapa de trabajo c) en el horno de conformación en caliente tras alcanzar la temperatura T1. En este caso, el tiempo de permanencia del producto plano de acero en el horno de conformación en caliente asciende igualmente a de 2 a 15 minutos y comprende a este respecto el tiempo de calentamiento hasta la temperatura del horno, como también el tiempo para mantener opcionalmente el producto plano de acero a la temperatura del horno. La atmósfera del horno durante el mantenimiento es la misma que en la etapa de trabajo b) durante el calentamiento.

El producto plano de acero obtenido en la etapa de procedimiento b) después del calentamiento o dado el caso en la

etapa de procedimiento c) después del mantenimiento opcional, dotado de un recubrimiento anticorrosivo presenta una capa de óxido de aluminio con un espesor medio de al menos 50 nm, preferentemente al menos 100 nm, sobre la superficie del recubrimiento anticorrosivo. Los espesores medios inferiores no suelen ser opacos, lo que repercute negativamente en el desgaste de la herramienta. En cuanto a la influencia del espesor de capa de óxido de aluminio en el desgaste de la herramienta, no existe un límite superior para el espesor medio de la capa de óxido de aluminio. Las capas de óxido de aluminio más finas, que presentan un espesor medio de como máximo 150 nm, han demostrado ser favorables para la generación selectiva de productos planos de acero con una idoneidad para la soldadura mejorada y una idoneidad para el lacado y la adhesión mejorada.

Las varillas de AIN pueden estar presentes en la capa de óxido de aluminio después del calentamiento o dado el caso después del mantenimiento opcional. Después del calentamiento o dado el caso después del mantenimiento opcional, están presentes como máximo 10 varillas de AIN por 1000 μm^2 en la capa de óxido de aluminio presente sobre la superficie de un producto plano de acero de acuerdo con la invención. Un mayor número de varillas de AIN por 1000 μm^2 repercute negativamente en los intervalos de revisión y limpieza dentro de una campaña de conformación. Por una campaña de conformación se entiende el conjunto de todas las pletinas a conformar en una secuencia bajo las mismas condiciones de conformación en caliente. Una campaña de conformación comprende normalmente hasta 1.500 pletinas. La conformación de una pletina en la herramienta de conformación también se denomina carrera. Mientras que con una densidad de 11 o más varillas AIN por 1000 μm^2 de superficie, las herramientas de conformación en caliente deben revisarse y limpiarse después de que se haya aplicado del 40 - 60 % de la superficie de la pieza constructiva de una campaña de conformación, con una densidad de como máximo 10 varillas AIN por 1000 μm^2 de superficie, las herramientas de conformación en caliente sólo deben revisarse y limpiarse por el contrario después de que se haya aplicado más del 60 % de la superficie de la pieza constructiva de una campaña de conformación, en particular después de que se haya aplicado del 70 - 80 % de la superficie de la pieza constructiva de una campaña de conformación. El desgaste de la herramienta puede reducirse aún más a la revisión y limpieza de las herramientas de conformación en caliente después de que se haya aplicado más del 80 % de la superficie de la pieza constructiva de una campaña de conformación si la densidad de las varillas de AIN por 1000 μm^2 de superficie está limitada a como máximo 5. Se puede conseguir un desgaste especialmente bajo con una densidad de varillas de como máximo 2, en particular cero varillas AIN por 1000 μm^2 de superficie. En este caso, sólo es necesario revisar y limpiar las herramientas de conformación en caliente después de que la superficie de la pieza constructiva se haya aplicado al 100 %.

En el presente caso, por el término "superficie de la pieza constructiva aplicada de una campaña de conformación" se refiere a la superficie de las pletinas que se han conformado en caliente en el molde en total dentro de una campaña de conformación. Para campañas de conformación con, por ejemplo, 1000 pletinas, esto significa que la revisión y la limpieza del molde con una densidad de 11 o más varillas de AIN por 1000 μm^2 de superficie sólo es necesario después de 400-600 carreras, con como máximo 10 varillas de AIN por 1000 μm^2 de superficie sólo después de más de 600, en particular después de 700-800 carreras, con como máximo 5 varillas de AIN por 1000 μm^2 de superficie sólo después de más de 800 carreras y con como máximo 2 varillas de AIN por 1000 μm^2 de superficie sólo después de finalizar la campaña de conformación.

El producto plano de acero obtenido en la etapa de procedimiento b) después del calentamiento o dado el caso en la etapa de procedimiento c) después del mantenimiento opcional presenta un recubrimiento anticorrosivo, cuyo espesor asciende normalmente a de 30 a 130 g/m² o a de 12 - 60 μm por lado. Por debajo de la capa de óxido de aluminio, el recubrimiento anticorrosivo contiene normalmente cuatro fases intermetálicas: Fe(Al_{1-x}Si_x), τ_1 Fe₃(Al, Si)₅, Fe₂Al₅ y Fe₃(Al_{1-x}Si_x).

En una realización preferida, el desgaste de la herramienta puede reducirse aún más si las varillas de AIN crecen más allá de la capa de óxido de aluminio como máximo 6 μm , preferentemente como máximo 2 μm , es decir que sobresalen de la capa de óxido de aluminio como máximo 6 μm , preferentemente como máximo 2 μm , de manera especialmente preferente como máximo 1,0 μm . Si se producen varillas de AIN, entonces su altura h o la longitud a la que las varillas de AIN sobresalen de la capa de óxido de aluminio asciende normalmente a de 0,5 - 6 μm . La altura h de las varillas de AIN se refiere a este respecto a su longitud que sobresale de la capa de óxido de aluminio. A este respecto, se entiende por la altura de una varilla de AIN la vertical perpendicular de la punta de la varilla de AIN a la superficie de la capa de óxido de aluminio.

En otra realización preferida, las varillas de AIN presentan un diámetro D de como máximo 2 μm , preferentemente de como máximo 1,1 μm , lo que repercute igualmente de manera favorable sobre el desgaste de la herramienta. Normalmente, su diámetro asciende a de 1 - 2 μm . Por el diámetro de una varilla de AIN se entiende la anchura de la varilla de AIN que discurre a la mitad de la altura de la varilla de AIN y paralela a la superficie de la capa de óxido de aluminio.

Los efectos negativos sobre el desgaste de la herramienta pueden reducirse de manera especialmente eficaz si las varillas de AIN sobresalen de la capa de óxido de aluminio tras el calentamiento tanto como máximo 6 μm , preferentemente como máximo 2 μm , como también como máximo 2 μm de espesor.

El producto plano de acero obtenido en la etapa de procedimiento b) tras el calentamiento o dado el caso en la etapa

de procedimiento c) tras el mantenimiento opcional, dotado de un recubrimiento anticorrosivo se transporta desde el horno de conformación en caliente hasta una herramienta de conformación en la etapa de procedimiento d) y se coloca en ésta. El transporte desde el horno de conformación en caliente hasta la herramienta de conformación y la colocación del producto plano de acero en la herramienta se realizan de manera conocida. A este respecto, los tiempos de transferencia de 3 a 15 s han demostrado ser especialmente favorables. Por el tiempo de transferencia se entiende en cuestión el intervalo de tiempo entre la descarga del horno y el cierre del molde.

En la etapa de procedimiento e) se conforma el producto plano de acero para dar una pieza constructiva en la herramienta de conformación de manera convencional y a este respecto se enfría de manera simultánea. El enfriamiento se realiza igualmente de manera convencional. La conformación se realiza a este respecto preferentemente de manera inmediata después de colocar el producto plano de acero en el molde. Las velocidades de enfriamiento de 20 a 1000 K/s, preferentemente de 25 a 500 K/s, han demostrado ser especialmente favorables. Estas velocidades de enfriamiento han demostrado ser en particular adecuadas para un curado del producto plano de acero.

En una realización preferida, el procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio está constituido únicamente por las etapas de procedimiento a) a e), es decir, no comprende ninguna otra etapa de procedimiento además de las etapas de procedimiento a) a e).

La pieza constructiva de acero obtenida mediante el procedimiento de acuerdo con la invención después de realizar la etapa de trabajo e) está dotada de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio, en particular presenta un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio. Durante el calentamiento en la etapa de trabajo b) y dado el caso el mantenimiento opcional en la etapa de procedimiento c), los átomos de hierro pueden difundirse desde el sustrato de acero al recubrimiento anticorrosivo, lo que puede aumentar el espesor del recubrimiento anticorrosivo. Por lo tanto, el espesor del recubrimiento anticorrosivo de la pieza constructiva de acero después de la conformación en caliente asciende normalmente a de 30 a 130 g/m² o a de 12 - 60 µm por lado. En la superficie del recubrimiento anticorrosivo, la pieza constructiva de acero presenta una capa de óxido de aluminio con un espesor medio de al menos 50 nm, preferentemente de al menos 100 nm. El espesor medio de la capa de óxido de aluminio asciende a este respecto a como máximo 150 nm. Por 1000 µm² de superficie, sobresalen de la capa de óxido de aluminio como máximo 10, preferentemente como máximo 5, de manera especialmente preferente como máximo 2, y de manera muy especialmente preferente ninguna varilla de AlN. Con ello están presentes en la capa de óxido de aluminio en particular como máximo 10 varillas de AlN por 1000 µm², preferentemente como máximo 5, de manera especialmente preferente como máximo 2, de manera muy especialmente preferente ninguna varilla de AlN.

En otra realización preferida, las varillas de AlN que sobresalen de la capa de óxido de aluminio de la pieza constructiva de acero tienen una altura de como máximo 6 µm, preferentemente como máximo 2 µm, de manera especialmente preferente como máximo 1,0 µm y tienen un diámetro de como máximo 2 µm, preferiblemente de como máximo 1,1 µm. Por debajo de la capa de óxido de aluminio, el recubrimiento anticorrosivo presenta normalmente cuatro fases intermetálicas: Fe(Al_{1-x}Si_x), τ 1 Fe₃(Al, Si)₅, Fe₂Al₅ y Fe₃(Al_{1-x}Si_x).

Una pieza constructiva de acero puede generarse mediante un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7.

A continuación se explica en detalle la invención por medio de dibujos y ejemplos de realización. Muestran

Fig. 1: Representación esquemática del crecimiento de las varillas de AlN y de la capa de óxido de aluminio

Fig. 2: Representación esquemática de la capa de óxido de aluminio y de las varillas de AlN para explicar las abreviaturas utilizadas

El crecimiento de las varillas de AlN se muestra esquemáticamente en la figura 1. Se ha aplicado un recubrimiento anticorrosivo 2 a base de aluminio sobre un sustrato de acero 1. En primer lugar, se forma una fina capa de óxido de aluminio 3 sobre el recubrimiento anticorrosivo 2 a base de aluminio (figura 1a)). La capa de óxido de aluminio es muy frágil. Cuando se calienta el producto plano de acero revestido, el recubrimiento anticorrosivo se expande por debajo de la capa de óxido de aluminio y se funde, al menos parcialmente. Mediante la expansión de volumen se agrieta la capa de óxido de aluminio 3 frágil en algunos sitios. En presencia de nitrógeno, los nitruros AlN pueden germinar en los huecos de la capa de óxido de aluminio 3, que inicialmente crecen hasta convertirse en pequeñas varillas de AlN 4 (figura 1 b)). Las varillas también pueden denominarse agujas de AlN debido a su forma alargada. Las varillas de AlN 4 presentan normalmente una sección transversal redonda con un diámetro D casi constante a lo largo de su longitud (figura 2). Las varillas de AlN siguen creciendo en longitud y anchura a medida que avanza el proceso de calentamiento, al tiempo que aumenta el espesor de la capa de óxido de aluminio (figura 1c) y figura 1d)). Al final del proceso de calentamiento, las varillas de AlN sobresalen de la capa de óxido de aluminio con una altura h (figura 2).

Para las pruebas se realizaron cuatro campañas de conformación con en cada caso 1.000 pletinas. Para ello, se facilitaron bandas de acero con las composiciones indicadas en la Tabla 1 y se revistieron por ambos lados de manera convencional por medio de revestimiento por inmersión en fundido con recubrimientos anticorrosivos a base de

aluminio con las composiciones indicadas en la Tabla 2. A partir de las bandas de acero revestidas se troquelaron pletinas en cada caso de manera convencional y se introdujeron en un horno con solera de rodillos para calentarlas. Las pletinas se trataron térmicamente con las condiciones indicadas en la Tabla 3.

- 5 Las pletinas se sometieron a tratamiento térmico en hornos de conformación en caliente con atmósferas de horno con contenidos de oxígeno del 15 al 20 % en volumen y puntos de rocío de -15 °C a +10 °C. En principio, las atmósferas de horno pueden ajustarse de varias maneras. Una posibilidad consiste en dejar que el horno de conformación en caliente se enfríe antes de introducir la atmósfera del horno de acuerdo con la invención, lo que normalmente puede tardar hasta 20 h, y calentarlo de nuevo después de haber introducido la atmósfera del horno. Otra posibilidad consiste en introducir la atmósfera del horno de acuerdo con la invención en un horno de conformación en caliente templado, lo que puede tener un efecto favorable en la reducción del tiempo de calentamiento. Otra posibilidad, que contribuye a reducir aún más los tiempos de calentamiento, consiste en calentar la atmósfera del horno de acuerdo con la invención antes de introducirla en el horno de conformación en caliente. En los ensayos 1 a 4, las atmósferas de horno se ajustaron en cada caso debido a que se habían introducido los gases respectivos en el horno a través de un tubo de gas.

Las pletinas de en cada caso 1,5 mm de espesor se calentaron hasta temperaturas de producto plano de acero T1 de 925 °C (ensayo 1), 910 °C (ensayos 2, 4) y 930 °C (ensayo 3). Los tiempos de permanencia t de las pletinas en el horno de conformación en caliente, que comprenden el tiempo desde el calentamiento hasta la salida del horno, ascendían a entre 4 y 6 minutos. Las pletinas calentadas se retiraron en cada caso del horno de conformación en caliente, se tomaron muestras y una parte de las pletinas se colocó en una prensa para la conformación en el intervalo de 3 a 10 s, se conformaron para dar una pieza constructiva y a continuación se volvieron a tomar muestras. Se produjeron varias pletinas para cada condición de ensayo hasta que el desgaste de la herramienta hizo necesario una interrupción para la limpieza y dado el caso el mantenimiento de la herramienta. Para cada ensayo, se tomaron muestras de una pletina o de una pieza constructiva conformada antes y después de la conformación en cada caso al principio, después de 250 carreras y después de 500 carreras. El muestreo de las pletinas conformadas se llevó a cabo en zonas planas de las piezas constructivas, en las que las pletinas no se sometieron a ninguna conformación o sólo a una baja conformación.

El número por área, el diámetro y la altura de las varillas de AlN se determinaron en un microscopio electrónico de barrido con un aumento de $V = 2000\times$ en cada caso en 3 rectificados planos por pletina con un tamaño de en cada caso $10 \times 15 \text{ mm}^2$. Se midieron en cada caso 3 superficies de 100 mm^2 de tamaño y los valores determinados se promediaron aritméticamente. El espesor de la capa de óxido se determinó en 3 muestras por pletina mediante espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS). Las muestras se desengrasaron con n-heptano, se aclararon con propanol y se soplaron con aire. Las muestras se fijaron en cada caso sobre un portamuestras, se introdujeron en la cámara de medición del espectroscopio de fotoelectrones de rayos X y se analizaron en alto vacío. La presión del recipiente ascendía a $< 5 \times 10^{-7} \text{ kPa}$ ($5 \times 10^{-8} \text{ mbar}$). Se utilizó argón como gas de bombardeo. La radiación se excitó como Al K α con una tensión de bombardeo de 2 o 4 kV. En cada muestra se realizó al menos una medición del espesor de la capa de óxido de aluminio. Los resultados de las mediciones de espesor de todas las muestras de una pletina se promediaron aritméticamente en cada caso y se denominan en cuestión espesor medio de la capa de óxido de aluminio o espesor medio. Se determinó una altura para cada varilla de AlN. Para las varillas de AlN inclinadas hacia la superficie, la perpendicular vertical de la punta de la varilla de AlN a la superficie se midió como la altura h . Se midió en cada caso un valor de anchura a la mitad de la altura de cada varilla de AlN, que se denomina diámetro de la varilla de AlN. Para las varillas de AlN inclinadas hacia la superficie, la anchura se midió a lo largo de una sección que discurre en paralelo a la superficie.

El estado de las herramientas de conformación fue inspeccionado en cada caso visualmente *in situ* por personal experto. Las herramientas de conformación se inspeccionaron visualmente tras en cada caso 100 carreras.

- 50 En el ensayo 1, se determinaron en cada caso como máximo 2 varillas de AlN por $1000 \mu\text{m}^2$ con una altura de como máximo $0,7 \mu\text{m}$ y un diámetro de como máximo $1,1 \mu\text{m}$ en las muestras tomadas antes y después de la conformación en caliente, tanto antes como después de la conformación en caliente. La capa de óxido presentaba en cada caso un espesor medio de 120 nm antes y después de la conformación en caliente. En las condiciones del ensayo 1, se pudieron realizar 700 carreras hasta que hubo que limpiar la herramienta de conformación. La herramienta de conformación sólo presentaba estrías mínimas, por lo que no fue necesario revisarla prematuramente.

En el ensayo 2, no se encontraron varillas de AlN en las muestras tomadas antes y después de la conformación en caliente, tanto antes como después de la conformación en caliente, después de la conformación en caliente se determinaron en cada caso como máximo 2 varillas de AlN por $1000 \mu\text{m}^2$ con una altura de como máximo $0,5 \mu\text{m}$ y un diámetro de como máximo $1 \mu\text{m}$. La capa de óxido presenta un espesor medio de 103 nm antes de la conformación en caliente y un espesor medio de 135 nm después de la conformación en caliente. En las condiciones del ensayo 2, se pudieron realizar 1000 carreras hasta que hubo que limpiar la herramienta de conformación. Además, la herramienta de conformación sólo presentaba estrías mínimas, por lo que tampoco en este caso fue necesaria una revisión prematura.

En el ensayo 3 (no de acuerdo con la invención), la atmósfera del horno contenía sólo un 15 % en volumen de oxígeno

no de acuerdo con la invención. Se midieron antes y después de la conformación en caliente en cada caso en promedio 13 varillas de AlN por 1000 μm^2 en las muestras tomadas antes y después de la conformación en caliente. La altura de las varillas de AlN ascendía a entre 3 y 5,5 μm , y el diámetro ascendió a entre 1,5 μm y 2 μm . La capa de óxido presentaba un espesor medio de 45 nm después de la conformación en caliente. En las condiciones del ensayo 3, se produjo una formación masiva de polvo en la herramienta y daños por abrasión en los radios, por lo que hubo que limpiar la herramienta después de 500 carreras y revisar los radios después de 1000 carreras.

En el ensayo 4 (no de acuerdo con la invención), la atmósfera del horno contenía un 21 % en volumen de oxígeno, un 78 % de nitrógeno, el resto gases nobles e impurezas inevitables. En las muestras tomadas antes y después de la conformación en caliente se determinaron en cada caso como máximo 1 varilla de AlN por 1000 μm^2 con una altura de como máximo 0,6 μm y un diámetro de como máximo 1,1 μm . La capa de óxido presentaba un espesor medio de 2100 nm. En las condiciones del ensayo 1, se pudieron realizar 800 carreras hasta que hubo que limpiar la herramienta de conformación. La herramienta de conformación sólo presentaba estrías mínimas, por lo que no fue necesario revisarla prematuramente. Sin embargo, el aumento de la formación de capas de óxido condujo a un deterioro de la idoneidad para la soldadura, la idoneidad para el lacado y la adhesión.

Tabla 1. Indicaciones en cada caso en % en peso, resto hierro e impurezas inevitables

Acero	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	B	Otro
A	0,09	0,33	0,9	0,025	0,020	0,010	0,08	0,010	0,004	-
B	0,22	0,35	1,35	0,022	0,008	0,010	-	0,03	0,004	Cr+Mo 0,4
C	0,37	0,3	1,2	0,022	0,007	0,013	-	0,11	0,003	Cr+Mo 0,38

Tabla 2. Indicaciones en cada caso en % en peso, resto aluminio

Recubrimiento	Si	Fe	Impurezas inevitables
K1	9	2,5	1
K2	10	3,5	1
K3	8,5	3	1

Tabla 3. Indicaciones en cada caso en % en peso, resto aluminio

Ensayo	Acero	Recubrimiento	Espesor del recubrimiento antes del calentamiento [g/m ² por lado]	T1 [°C]	TP [°C]	Atmósfera del horno	t [min]
1	A	K1	70	925	-5	18 % en volumen de O ₂ , 1 % en volumen de gases nobles, resto N ₂	5
2	B	K2	40	910	+10	20 % en volumen de O ₂ , 0,8 % en volumen de gases nobles, resto N ₂	6
3	C	K3	75	930	-15	15 % en volumen de O ₂ , 0,8 % en volumen de gases nobles, resto N ₂	4
4	B	K1	70	925	-5	21 % en volumen de O ₂ , 0,8 % en volumen de gases nobles, resto N ₂	5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de una pieza constructiva de acero dotada de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio, que comprende las siguientes etapas de procedimiento:
- 5 a) facilitar un producto plano de acero dotado de un recubrimiento anticorrosivo a base de aluminio;
b) calentar el producto plano de acero revestido en un horno de conformación en caliente, cuya atmósfera del horno contiene del 16 % en volumen al 20 % en volumen de oxígeno y presenta un punto de rocío de -20 °C a +15 °C;
- 10 c) sujetar opcionalmente el producto plano de acero revestido en el horno de conformación en caliente;
d) transportar el producto plano de acero calentado a una herramienta de conformación;
e) conformar y enfriar de manera simultánea el producto plano de acero en la herramienta de conformación.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el acero usado para el sustrato de acero del producto plano de acero está constituido por del 0,1 - 0,4 % en peso de C, del 0,5 - 3,0 % en peso de Mn, del 0,05 - 0,5 % en peso de Si, del 0,01 - 0,2 % en peso de Al, del 0,005 - 1,0 % en peso de Cr, del 0,0005 - 0,01 % en peso de B, del 0,001 - 0,2 % en peso de V, del 0,001 - 0,1 % en peso de Ti, del 0,001 - 0,1 % en peso de Nb, opcionalmente del 0,01 - 0,4 % en peso de Ni, opcionalmente del 0,01 - 0,8 % en peso de Cu, opcionalmente del 0,002 - 1,0 % en peso de Mo, opcionalmente del 0,001 - 1,0 % en peso de W, hasta el 0,01 % en peso de N, y como resto por hierro e impurezas inevitables, en donde pueden atribuirse a las impurezas inevitables hasta el 0,1 % en peso de P y hasta el 0,05 % en peso de S.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el recubrimiento anticorrosivo presente sobre el sustrato de acero está constituido por del 3 - 15 % en peso de Si así como opcionalmente uno o más elementos seleccionados del grupo que está constituido por hierro, metales de transición distintos del hierro, metales alcalinotérreos y mezclas de los mismos, en los siguientes contenidos: del 2 - 3,5 % en peso de Fe, del 0,05 - 2 % en peso de metales de transición distintos del Fe, del 0,05 - 2 % en peso de metales alcalinotérreos, y como resto por aluminio e impurezas inevitables.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la atmósfera del horno de conformación en caliente está constituida por al menos el 16 % en volumen de oxígeno, hasta el 1,5 % en volumen de uno o varios gases nobles, y como resto en cada caso por nitrógeno e impurezas inevitables.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la relación de la proporción en volumen de nitrógeno con respecto a la proporción en volumen de oxígeno en el horno de conformación en caliente asciende a entre 3,80 y 5,30.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el producto plano de acero revestido se calienta hasta una temperatura entre 830 y 950 °C.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tiempo de permanencia del producto plano de acero en el horno de conformación en caliente asciende a de 2 a 15 minutos.

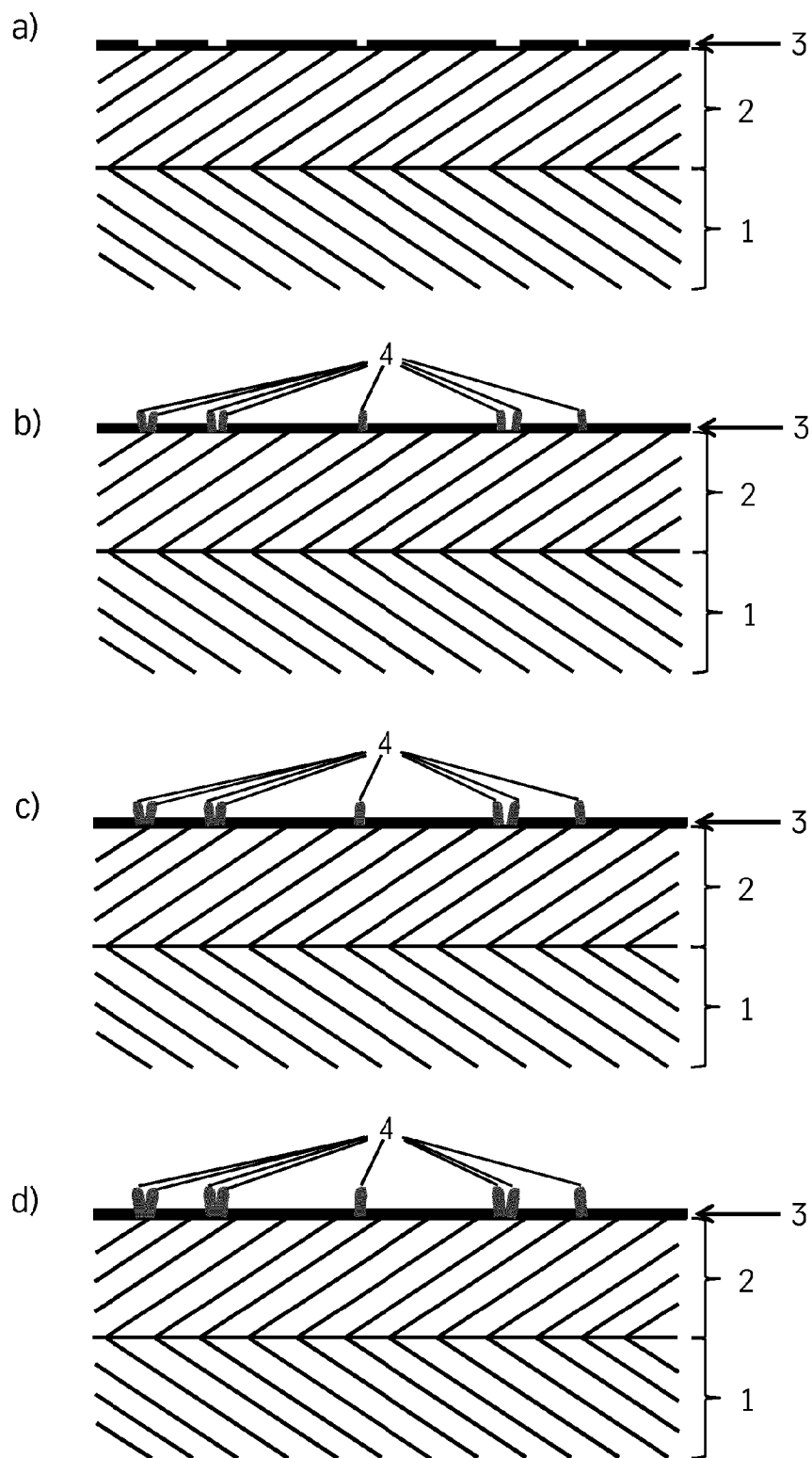


Fig. 1

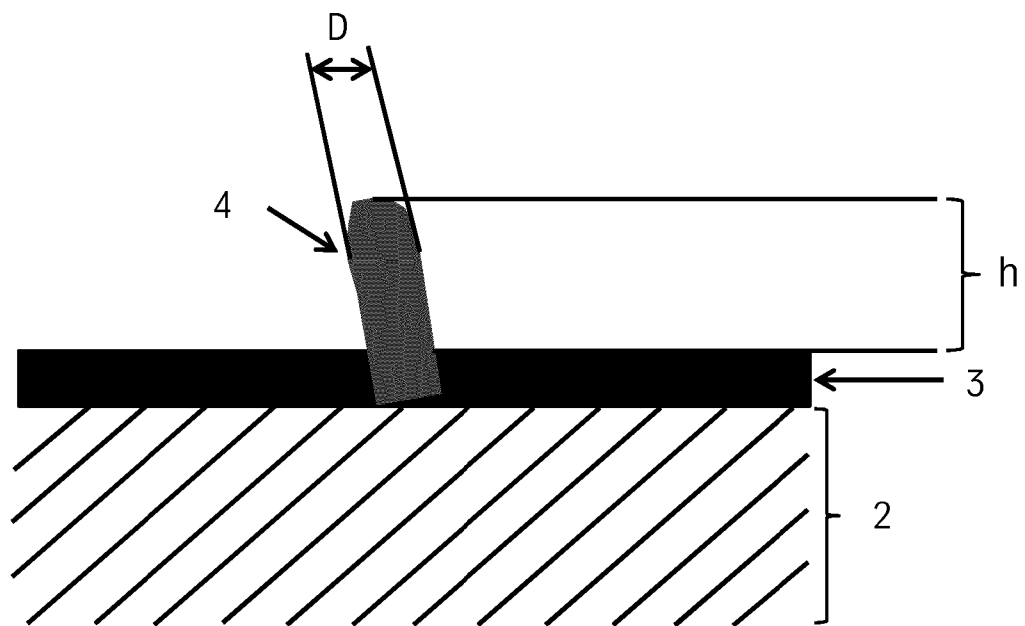


Fig. 2