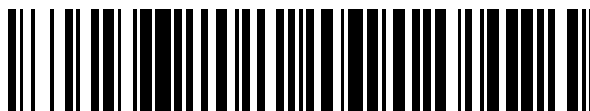


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 121**

51 Int. Cl.:

B23K 20/12

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2008** **E 08850933 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014** **EP 2219814**

54 Título: **Herramienta de soldadura por fricción-agitación**

30 Prioridad:

16.11.2007 AT 18622007

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

24.03.2015

73 Titular/es:

BOEHLERIT GMBH & CO.KG. (50.0%)

Deuchendorf - Werk VI

8605 Kapfenberg, AT y

TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ (50.0%)

72 Inventor/es:

KOLBECK, CHRISTIAN;

PITONAK, REINHARD y

WEISENBACHER, RONALD

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 532 121 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

Herramienta de soldadura por fricción-agitación

La invención se refiere a una herramienta de soldadura por fricción-agitación según el preámbulo de la reivindicación 1.

- 5 El documento WO 2005/113173 A1 describe una herramienta de soldadura por fricción-agitación con un árbol cilíndrico y un resalte sobresaliente de diámetro reducido.

La soldadura por fricción-agitación es un procedimiento de soldadura conocido desde hace aproximadamente dos décadas, en el que una herramienta del tipo mencionado al principio que se apoya con el extremo de lado de resalte en piezas de trabajo que deben unirse y se hace rotar. Mediante la rotación del resalte y de la región de reborde
10 adyacente o el calor de fricción generado por ello se calientan los materiales de las piezas de trabajo que deben unirse y se convierten en pastosos. En cuanto los materiales de las piezas de trabajo que deben unirse son suficientemente pastosos, el resalte se encarga de producir un mezclado íntimo de los materiales de las piezas de trabajo que deben unirse en la región de unión. Luego, cuando se deja que las piezas de trabajo se enfíen en la región de la zona de acción del resalte, se genera un punto de soldadura mejorado en comparación con los
15 procedimientos de soldadura convencionales, que puede estar en particular libre de poros y/o texturas no deseadas.

Aunque es todavía un desarrollo tecnológico reciente, la soldadura por fricción-agitación ya se utiliza en muchos campos de aplicación, sobre todo para soldar piezas de trabajo hechas a partir de materiales de bajo punto de fusión, por ejemplo aleaciones de aluminio.

Recientemente también se está intentando extrapolar las ventajas obtenidas con una soldadura por fricción-agitación a la soldadura de materiales de mayor punto de fusión, por ejemplo acero. Sin embargo, hasta el momento existe un problema que consiste en que las herramientas de soldadura por fricción-agitación utilizadas a menudo se deforman a las elevadas temperaturas de soldadura. Por lo demás, en el proceso de soldadura también puede producirse un desprendimiento o una rotura del resalte o saliente del árbol o romperse el propio árbol.

El objetivo de la invención es indicar una herramienta de soldadura por fricción-agitación mejorada para soldar
25 acero.

Este objetivo se soluciona en una herramienta de soldadura por fricción-agitación del tipo mencionado al principio, cuando la herramienta de soldadura por fricción-agitación está formada al menos en la región del resalte y en la región de reborde de un metal duro que contiene del 80 por ciento en peso al 98 por ciento en peso de carburo de wolframio con un tamaño de grano promedio de más de 1 μm y hasta el 20 por ciento en peso de cobalto, así como
30 opcionalmente en total hasta el 18 por ciento en peso de carburo de titanio, carburo de tantalio, carburo de niobio y/o carburos mixtos de los mismos, y presenta al menos en una de dichas regiones un recubrimiento de una o varias capas, estando formada en particular al menos una capa preferiblemente en su mayoría de nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo.

Puede considerarse que las ventajas obtenidas con la invención son en particular que, debido a los porcentajes en peso previstos de carburo de wolframio o cobalto, la herramienta de soldadura por fricción-agitación presenta un sustrato, que por un lado es menos propenso a roturas, pero por otro lado tampoco es tan blando como para que durante su utilización o uso se produzcan deformaciones de la herramienta. En relación con esto, parece que también es esencial un tamaño de grano promedio previsto del carburo de wolframio en la pieza en bruto de herramienta sinterizada de más de 2 μm . Tal como han mostrado estudios, de manera interesante, tamaños de grano promedio menores no conducen al resultado deseado. Se cree que en caso de un grano más fino, la conductividad térmica necesaria del árbol es demasiado reducida. En comparación con las soluciones conocidas a base de wolframio/renio, puede considerarse que una ventaja adicional es que en una herramienta de soldadura por fricción-agitación según la invención no se observó, o sólo en un grado reducido, una tendencia a la adhesión de los materiales que van a soldarse, por ejemplo acero.

En relación con el sustrato duro, pero no obstante tenaz, el recubrimiento previsto proporciona una larga vida útil de la herramienta de soldadura por fricción-agitación en el caso de la soldadura de acero. A este respecto se cree que las capas previstas, por ejemplo de nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo, sobre todo en la región del canto de reborde sirven como barreras térmicas y en particular en la región de reborde posterior como protección frente al desgaste y por consiguiente contrarrestan tanto un calentamiento y una deformación no deseados de la herramienta de soldadura por fricción-agitación como un desgaste. Para, en caso de una dureza elevada, mantener reducida una propensión a la rotura y al mismo tiempo evitar en la medida de lo posible una deformación de la herramienta de soldadura por fricción-agitación durante su uso, puede estar previsto convenientemente que el metal duro contenga del 2 por ciento en peso al 15 por ciento en peso de cobalto.

Por lo demás, es favorable que el metal duro esté compuesto por carburo de wolframio y del 2 por ciento en peso al 12 por ciento en peso, preferiblemente del 3 por ciento en peso al 9 por ciento en peso, de cobalto, y concretamente por los motivos mencionados anteriormente. Es especialmente favorable limitar el contenido en cobalto a como máximo el 9 por ciento en peso, dado que el cobalto a temperaturas de más de 1000°C puede contribuir mediante

difusión al interior del recubrimiento a su destrucción, lo que se promueve mediante contenidos en cobalto mayores. Un contenido mínimo en cobalto es necesario para una tenacidad deseada, recomendándose en relación con esto excluir carburos adicionales (aparte de las impurezas condicionadas por la producción) tales como carburo de titanio y/o carburo de tantalio y/o carburo de niobio así como carburos mixtos, dado que éstos pueden tener un efecto de fragilización.

Con respecto a una vida útil de la herramienta, se prefiere especialmente que el tamaño de grano promedio del carburo de wolframio sea lo más grande posible y ascienda a más de 2,5 μm , en particular de 2,5 μm a 8,5 μm .

Para la producción del recubrimiento previsto pueden usarse tanto procedimientos de CVD como procedimientos de PVD. Ha dado buen resultado producir el recubrimiento mediante un procedimiento de PVD. El motivo de esto radica en que con los aparatos de recubrimiento habituales, en un procedimiento de CVD no es posible un recubrimiento parcial de la herramienta de soldadura por fricción-agitación. Por el contrario, con un procedimiento de PVD puede tener lugar un recubrimiento parcial, en particular sólo en la región del resalte, en la región de reborde así como en todo caso a lo largo de una longitud de aproximadamente 10 mm en aquella región del árbol que sigue a la región de reborde. Este recubrimiento parcial es deseado en el sentido de que el árbol debe emitir calor de una manera fundamentalmente buena y que únicamente en aquella región en la que está expuesto a las máximas temperaturas, es decir en la región del resalte, del reborde y la región que sigue a la misma del árbol, debe estar dotada de un recubrimiento o capa de recubrimiento que sirve como barrera térmica y protección frente al desgaste.

Como recubrimientos se utilizan preferiblemente aquéllos de o con al menos una capa, que contiene en su mayoría nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo. En una capa de este tipo, el porcentaje de nitruro de aluminio es mayor que el porcentaje de nitruro de titanio o nitruro de cromo. Según el tipo de la capa, ésta puede presentar fases adicionales.

Para garantizar la resistencia térmica y resistencia al desgaste necesarias, el recubrimiento se realiza con un grosor de capa de la capa que contiene en su mayoría nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo de desde 0,5 μm hasta 8 μm .

Bajo los recubrimientos han demostrado ser especialmente preferibles recubrimientos nanoestructurados con al menos una capa de nitruro de aluminio y titanio y nitruro de silicio o nitruro de aluminio y cromo y nitruro de silicio. Tales recubrimientos son en sí conocidos y pueden presentar una red porosa de $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ con un grosor de pared de la red de menos de 2 nanómetros. En los poros está distribuido nitruro de aluminio y titanio y/o nitruro de aluminio y cromo con un tamaño de grano de menos de 20 nanómetros.

Se prefiere especialmente, con respecto a una larga vida útil de la herramienta de soldadura por fricción-agitación, que la capa más externa del recubrimiento sea una capa que contenga en su mayoría nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo.

La configuración geométrica de la herramienta de soldadura por fricción-agitación puede tener lugar de manera similar al estado de la técnica, habiéndose mostrado que puede producirse una vida útil especialmente larga, cuando el resalte está configurado de manera esencialmente cilíndrica. A este respecto, el resalte está dispuesto convenientemente sobre un eje del árbol.

Características, ventajas y efectos adicionales de la invención resultan de los ejemplos de realización expuestos a continuación y los dibujos, a los que se hace referencia. A este respecto muestran:

la figura 1 una herramienta de soldadura por fricción-agitación con un resalte esencialmente cilíndrico;

la figura 2 una representación ampliada del corte a lo largo de la línea de corte II-II en la figura 1;

la figura 3 una parte del árbol de la herramienta de soldadura por fricción-agitación según la figura 1;

la figura 4 una herramienta de soldadura por fricción-agitación con un resalte no cilíndrico;

la figura 5 una representación ampliada del corte a lo largo de la línea de corte V-V en la figura 4;

la figura 6 una representación ampliada de una vista en planta sobre una herramienta de soldadura por fricción-agitación según la figura 4;

la figura 7 una representación ampliada del corte a lo largo de la línea de corte VII-VII en la figura 6.

En la figura 1 a la figura 3 así como en la figura 4 a la figura 7 se muestran dos herramientas de soldadura por fricción-agitación 1, tal como pueden utilizarse en el marco de la invención. Cada herramienta de soldadura por fricción-agitación 1 presenta un árbol aproximadamente cilíndrico 2 con dos extremos 5, 6. El primer extremo 5 está configurado en cada caso con una región de reborde 4 que discurre de manera descendente desde el borde o un canto de reborde hacia el eje X del árbol 2 en primer lugar con un ángulo de hasta 15°, que luego pasa de manera ascendente en cada caso a un resalte 3 o saliente dispuesto sobre el eje central X del árbol 2. La transición 8 desde la región de reborde 4 al resalte 3 puede estar configurada a este respecto de manera redondeada, tal como puede

verse a partir de la figura 2. El resalte 3 está configurado dirigido de manera ligeramente cónica visto desde el centro del árbol 2 hacia el eje X con un ángulo de desde aproximadamente 5° hasta 15°, preferiblemente de 7° a 12°. Por lo demás, en el árbol 2 puede estar prevista, partiendo desde el segundo extremo 6, una ranura de guiado 7, para permitir colocar y sujetar de manera firme la herramienta de soldadura por fricción-agitación 1 en un dispositivo.

- 5 Las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 representadas en la figura 1 a la figura 3 o la figura 4 a la figura 7 pueden estar fabricadas en cada caso en conjunto de un metal duro, que está recubierto al menos en la región del resalte 3, en la región de reborde 4 así como en la región lateral del árbol 2 que sigue a la región de reborde 4 (hasta aproximadamente 10 mm). Sin embargo, las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 también pueden estar configuradas en dos partes, estando formada una primera parte, que comprende el resalte 3, la región de reborde 4 así como una primera región del árbol 2 con una longitud de aproximadamente 10 mm, de metal duro y estando formada una segunda parte, que comprende el resto del árbol 2 hasta su segundo extremo 6, de acero. Ambas partes pueden unirse, por ejemplo, mediante atornillado o unión de material.

- 15 Se produjeron herramientas de soldadura por fricción-agitación 1, tal como se representan en la figura 1 a la figura 3, a partir de diferentes metales duros a base de carburo de wolframio. Las composiciones, las durezas Vickers HV30, los tamaños de grano promedio de los polvos de carburo de wolframio utilizados en la producción de las herramientas mediante sinterización, es decir los denominados tamaños de grano según Fisher, así como las densidades de los metales duros se indican en la siguiente tabla 1. En comparación con los tamaños de grano según Fisher, los tamaños de grano obtenidos tras una sinterización son claramente menores y se encuentran por ejemplo en el caso de un tamaño de grano según Fisher promedio de 9,5 μm en el intervalo de desde 2,5 μm hasta 3,0 μm .

Tabla 1

Sustrato	Composición (en por ciento en peso)				HV30	Tamaño de grano WC (μm)	Densidad (g/cm^3)
	WC	Co	TiC	Ta(Nb)C			
A	57,5	9,5	18,0	15,0	1575	2,5	10,30
B	92,0	8,0			1275	9,5	14,75
C	90,0	10,0			1675	0,8	14,40
D	87,0	13,0			1150	9,5	14,20
E	77,0	11,0	4,0	8,0	1400	5,3	13,15
F	73,7	26,0	0,2	0,2	838	9,5	13,10

- 25 Para recubrir las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 según la tabla 1 se utilizaron los tipos de recubrimiento indicados en la siguiente tabla 2. A este respecto, se utilizaron tanto recubrimientos de una capa (recubrimientos n.º 1 y n.º 9) como recubrimientos de múltiples capas (por ejemplo recubrimiento n.º 4). El grosor o espesor de las capas individuales en el caso de recubrimientos de múltiples capas, así como el orden de las capas individuales, puede verse a partir de la tabla 2.

Tabla 2

Recubrimiento	Composición	Grosor de capas total (μm)
n.º 1	AlTiSiN (3,0 μm)	3,0
n.º 2	TiCN* (7,5 μm) TiN (0,5 μm) sustrato	8,0
n.º 3	TiN/AlCrN (3,0 μm)	3,0
n.º 4	TiAlN (2,0 μm) TiN/TiAlN (3,0 μm) sustrato	5,0
n.º 5	Al ₂ O ₃ (0,5 μm) TiN (0,5 μm) TiCN (1,5 μm) Al ₂ O ₃ (4,0 μm) TiCN* (7,0 μm) TiCN (2,0 μm) TiN (0,5 μm) sustrato	16,0
n.º 6	Al ₂ O ₃ (7,0 μm) TiCN* (8,0 μm) TiCN (3,0 μm) TiN (1,0 μm) sustrato	19,0
n.º 7	AlCrN (2,0 μm)	7,0

	TiAlN (2,0 µm) TiN/TiAlN (3,0 µm) sustrato	
n.º 8	AlCrN (2,0 µm) TiCN* (7,5 µm) TiN (0,5 µm) sustrato	10,0
n.º 9	AlTiN (6,0 µm)	6,0

*producido según el documento WO 2007/056785 A1

En una primera serie de ensayos se recubrieron diferentes herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 con composiciones o propiedades según la tabla 1 en la región del resalte 3, de la región de reborde 4 y, partiendo de la región de reborde 4 o un extremo 5, hasta una longitud de aproximadamente 10 mm en el árbol 2, combinándose recubrimientos individuales con sustratos individuales A, B y C para dar una matriz de ensayo. Las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 así producidas se utilizaron a continuación para soldar piezas de trabajo de acero, ascendiendo la longitud de la costura de soldadura a 20 mm. Después de la soldadura se estudiaron las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 individuales óptica y metalúrgicamente.

En la tabla 3 se resumen los resultados de la matriz de ensayo. Como resulta evidente a partir de esta tabla, en las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 con un sustrato A se produjo en tres casos una rotura del árbol 2. Si no estaba previsto ningún recubrimiento, entonces aparecieron en el árbol 2 grietas longitudinales que partían de la región de reborde 4. Para herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 a partir de un sustrato C, en el caso sin recubrimiento o con un recubrimiento n.º 1, únicamente pudo realizarse una soldadura puntual, dado que se produjo una deformación masiva del canto de reborde. Para las variantes en las que se combinó un sustrato C con un recubrimiento n.º 2, n.º 3 o n.º 4, pudo establecerse en el caso de una longitud de costura de soldadura de 20 mm un desgaste masivo del resalte 3 y/o una deformación de la región de reborde 4 o del canto de reborde del árbol 2 o una rotura del resalte 3 (rotura del saliente). Por el contrario, las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 a partir de un sustrato B, recubiertas con un recubrimiento n.º 2, n.º 5, n.º 6, n.º 7 o n.º 8, seguían esencialmente intactas también tras la operación de soldadura, es decir, no pudo establecerse ni una deformación esencial ni una abrasión o un desgaste del resalte 3 o saliente.

Tabla 3

Sustrato	Recubrimiento								
	sin	n.º 1	n.º 2	n.º 3	n.º 4	n.º 5	n.º 6	n.º 7	n.º 8
A	grietas longitudinales	rotura de árbol	rotura de árbol			rotura de árbol			
B	intacta, VF ⁺ reducida		intacta			intacta, VS ⁺⁺ reducido	intacta	intacta	intacta
C	VF ⁺⁺	VF ⁺⁺	VS ⁺⁺ , VF ⁺	rotura de saliente	VS ⁺⁺ , VF ⁺				

⁺ VF... deformación

⁺⁺ VS... desgaste

* sólo soldadura puntual

En una serie de ensayos adicional se combinaron además del sustrato B, sustratos adicionales D, E y F a su vez con diferentes recubrimientos. Se utilizaron herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 correspondientes, para unir entre sí piezas de acero a lo largo de una longitud de costura de soldadura de 150 mm. Se estudiaron las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 como en la primera serie de ensayos óptica y metalúrgicamente. Los resultados se representan en la siguiente 4.

Tabla 4

Sustrato	Recubrimiento			
	n.º 1	n.º 9	n.º 7	n.º 2
B	intacta	intacta	intacta	rotura de saliente (a aproximadamente 85 mm)
D	intacta	rotura de saliente (a aproximadamente 85 mm)	rotura de saliente (a aproximadamente 145 mm)	rotura de saliente (a aproximadamente 25 mm)
E	VF ⁺ VS ⁺⁺	VF ⁺ VS ⁺⁺	intacta	rotura de saliente (a aproximadamente 48 mm)
F	VF ⁺ , rotura a 20 mm	VF ⁺ , rotura a 20 mm	VF ⁺ , rotura a 20 mm	

⁺ VF...deformación

⁺⁺ VS...desgaste

- 5 Tal como resulta evidente mediante las tablas, resulta conveniente, para poder crear costuras de soldadura de gran longitud, que por un lado el sustrato esté formado esencialmente por aproximadamente del 2 por ciento en peso al 15 por ciento en peso de cobalto y por otro lado carburo de wolframio con un tamaño de grano de preferiblemente más de 2,0 μm (en el estado sinterizado) y que en particular esté previsto un recubrimiento resistente al calor y resistente al desgaste con al menos una capa que contenga AlTiN, AlCrN o variantes dopadas de los mismos, por ejemplo AlTiSiN, es decir capas en las que el porcentaje de nitruro de aluminio supera el porcentaje de nitruro de titanio o nitruro de cromo (a diferencia de, por ejemplo, TiAlN). Así, para las combinaciones de los recubrimientos n.º 1, n.º 9 y n.º 7 con los sustratos B y D, pudo establecerse que en el caso de una longitud de costura de soldadura de 150 mm las herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 a base de uno de los sustratos B y D en cada caso con un recubrimiento n.º 1 siguen intactas. Por el contrario, en el caso de la combinación de los mismos sustratos con los recubrimientos n.º 7 o n.º 9, en el caso del sustrato D se produjo una rotura de saliente a 145 mm o 85 mm. Debido a la última observación se cree que el contenido en cobalto del sustrato B reducido en comparación con el de los sustratos B y D tiene un efecto favorable.
- 10
- 15 En una serie de ensayos adicional se dotaron herramientas de soldadura por fricción-agitación 1 a partir del sustrato B con recubrimientos de PVD nanoestructurados de hasta 10 μm de grosor de nitruro de aluminio y cromo y nitruro de silicio y se sometieron a prueba con respecto a herramientas habituales en el comercio a base de wolframio/renio. Mientras que las herramientas a partir del sustrato B con dichos recubrimientos apenas mostraban fenómenos de desgaste con la soldadura de chapas de acero con un grosor de en cada caso 4 mm en el caso de una longitud de soldadura total del 550 mm y tampoco pudieron observarse adhesiones o sólo en una cantidad reducida, en las herramientas habituales en el comercio pudieron establecerse tanto adhesiones como fenómenos de desgaste claros. Con respecto a la costura de soldadura, al usar herramientas según la invención pudo establecerse una calidad excelente.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) con un árbol esencialmente cilíndrico (2), que en un extremo (5) partiendo de una región de reborde (4) del árbol (2) presenta un resalte sobresaliente (3) de diámetro reducido, en la que la herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) presenta al menos en la región del resalte (3) y en la región de reborde (4) de un metal duro que contiene del 80 por ciento en peso al 98 por ciento en peso de carburo de wolframio, caracterizada por que el carburo de wolframio está formado de un tamaño de grano promedio de más de 2 μm y hasta el 20 por ciento en peso de cobalto así como opcionalmente en total hasta el 18 por ciento en peso de carburo de titanio, carburo de tantalio, carburo de niobio y/o carburos mixtos de los mismos, y la herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) presenta al menos en una de dichas regiones un recubrimiento de una o varias capas.
2. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según la reivindicación 1, caracterizada por que el metal duro contiene del 2 por ciento en peso al 15 por ciento en peso de cobalto.
3. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según la reivindicación 1 o 2, caracterizada por que el metal duro está compuesto por carburo de wolframio y del 2 por ciento en peso al 12 por ciento en peso, preferiblemente del 3 por ciento en peso al 9 por ciento en peso, de cobalto.
4. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada por que el tamaño de grano promedio del carburo de wolframio asciende a más de 2,5 μm , en particular de 2,5 μm a 8,5 μm .
5. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada por que el recubrimiento es un recubrimiento de PVD.
6. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que el recubrimiento presenta al menos una capa, que contiene en su mayoría nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo.
7. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según la reivindicación 6, caracterizada por que el grosor de capa de la capa que contiene en su mayoría nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo asciende a de 0,5 μm a 8 μm .
8. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según la reivindicación 6 o 7, caracterizada por que la capa es una capa nanoestructurada de nitruro de aluminio y titanio y nitruro de silicio o nitruro de aluminio y cromo y nitruro de silicio.
9. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada por que la capa más externa del recubrimiento es una capa, que contiene en su mayoría nitruro de aluminio y titanio o nitruro de aluminio y cromo.
10. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada por que el resalte (3) está formado de manera esencialmente cilíndrica.
11. Herramienta de soldadura por fricción-agitación (1) según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada por que el resalte (3) está dispuesto sobre un eje (X) del árbol (2).

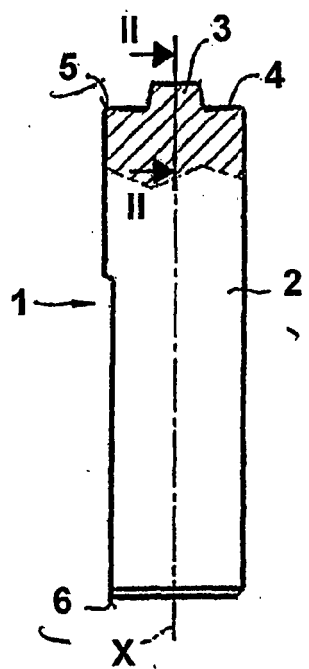


Fig. 1

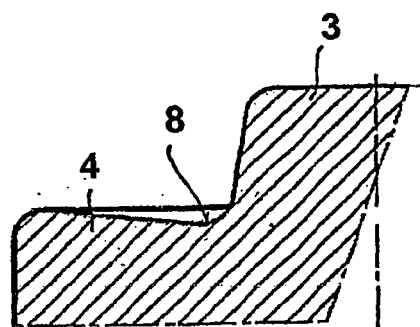


Fig. 2

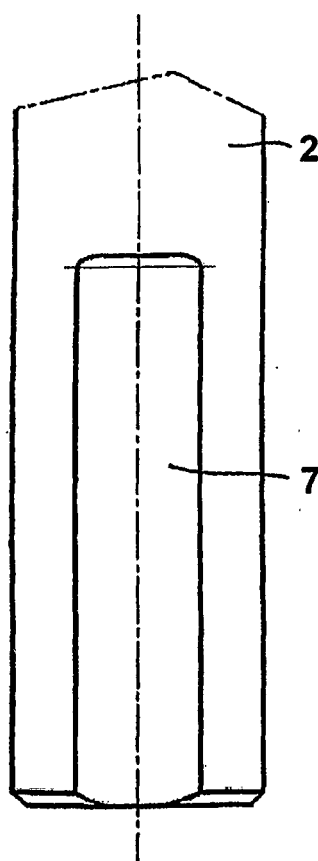


Fig. 3

