

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 452 488**

51 Int. Cl.:

B23K 1/00 (2006.01)

B23K 35/02 (2006.01)

B23K 35/30 (2006.01)

B23P 6/00 (2006.01)

F01D 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2012 E 12175452 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2013 EP 2548686**

54 Título: **Lámina de soldadura para la soldadura a alta temperatura y procedimiento para la reparación o bien para la fabricación de componentes utilizando esta lámina de soldadura**

30 Prioridad:

19.07.2011 CH 12042011

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

01.04.2014

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**STANKOWSKI, ALEXANDER y
BECKEL, DANIEL**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 452 488 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

Lámina de soldadura para la soldadura a alta temperatura y procedimiento para la reparación o bien para la fabricación de componentes utilizando esta lámina de soldadura

5 La invención se refiere al campo de la técnica de materiales. Se refiere a una lámina de soldadura amorfa fabricada por medio de procedimientos de hilado por fundición para la soldadura a alta temperatura de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 (ver, por ejemplo, el documento EP 0 677 335 A1 o el documento EP 0 342 506 A1) y a un procedimiento para la unión de al menos dos elementos de componentes a partir de superaleaciones monocristalinas o solidificadas dirigidas con objeto de la fabricación o bien la reparación de componentes, en particular palas de turbinas de gas, utilizando la lámina de soldadura de acuerdo con la invención (ver las reivindicaciones 12 a 13).

Estado de la técnica

15 Los componentes monocristalinos o solidificados dirigidos a partir de superaleaciones, por ejemplo a base de níquel, superaleaciones a base de cobalto o superaleaciones a base de níquel y cobalto, presentan a temperaturas de sollicitación muy altas, entre otras cosas, una buena resistencia del material, pero también una buena resistencia a la corrosión. En virtud de esta combinación de propiedades, en el caso de empleo de materiales de este tipo, pero muy caros, por ejemplo en turbinas de gas, se puede elevar fuertemente la temperatura de entrada de la turbina, con lo que se incrementa el rendimiento de la instalación. Por lo tanto, las temperaturas de funcionamiento en el campo del gas caliente de más de 1400°C son temperaturas de sollicitación, a las que están expuestos una pluralidad de componentes de la turbina de gas, por ejemplo las palas de guía y las palas de rodadura o los revestimientos de la cámara de combustión. Además de estas sollicitaciones térmicas altas, también están fuertemente sollicitadas mecánicamente, por ejemplo, sobre todo las palas de rodadura de las turbinas. Todo esto puede conducir durante el funcionamiento de la turbina a la aparición de grietas no deseadas en el material, de manera que tales componentes dañados o bien deben ser sustituidos por piezas nuevas o, en cambio, deben repararse.

25 Pero, como ya se ha mencionado anteriormente, puesto que la fabricación de componentes de turbinas nuevos monocristalinos o bien solidificados dirigidos es extremadamente costosa y en el caso de piezas grandes es complicada con relación a una calidad suficiente del material (estructura monocristalina o bien solidificada dirigida continua), la mayoría de las veces se intenta reparar el componente dañado presente, es decir, que debe restablecerse la capacidad funcional del componente a través de la reparación y el componente reparado debe emplearse entonces de nuevo durante otro periodo de revisión en la turbina.

30 Pero la reparación de componentes de turbinas de gas monocristalinos o solidificados dirigidos dañados es esencialmente más difícil en comparación con la reparación de componentes dañados, que presentan una textura policristalina convencional, puesto que también las zonas reparadas de los componentes monocristalinos o bien solidificados dirigidos deberían presentar una microestructura monocristalina o bien solidificada dirigida correspondiente, en otro caso se produce un empeoramiento no deseado de las propiedades en la zona reparada.

35 Se conoce en el estado de la técnica (ver, por ejemplo, EP 1 258 545 B1) que para la reparación de componentes de turbinas de gas dañados se emplea un proceso de soldadura. En este caso, se aplica una soldadura en la zona del daño del material del componente, por ejemplo en la zona de una grieta, sobre el material de base y se rellena la grieta así como a continuación se funde por medio de una actuación de calor (la temperatura de tratamiento debe ser mayor que la temperatura de fundición de la soldadura, pero menor que la temperatura de fundición del material de base) y se une con el material de base en unión positiva. Para la reducción de la temperatura de fundición de la soldadura se añaden a ésta la mayoría de las veces elementos reductores del punto de fusión, en el caso del documento EP 1 258 545 B1, se añaden de 1 a 3 % en peso de B.

45 El procedimiento de soldadura tiene frente a los procedimientos de soldadura igualmente conocidos, pero no descritos aquí en detalle, para la reparación de componentes de turbinas de gas dañados la ventaja de que durante la soldadura el material de base no se funde y, por lo tanto, se puede mantener la estructura monocristalina del material de base.

50 Durante el tratamiento en caliente durante la soldadura tienen lugar procesos de difusión en el material, que conducen, entre otras cosas, a que los reductores del punto de fusión, como boro, se difundan desde la soldadura en el material de base circundante. La soldadura se solidifica como consecuencia de la reducción de la concentración de boro, mientras que el material de base en la zona que rodea la soldadura presenta una concentración elevada de boro, lo que puede conducir de manera desfavorable a la separación de boruros frágiles.

55 Además, también de manera desfavorable el material de soldadura en oposición al material de base en muchos casos después de la soldadura, en virtud de la actuación térmica grande, no puede presentar una estructura monocristalina o bien solidificada dirigida. Esto es atribuible, entre otras cosas, a que las superaleaciones resistentes a altas temperaturas utilizadas para componentes de turbinas de gas, deben soldarse también a temperaturas muy altas. En función de la altura de las tensiones propias dentro de la zona a reparar, por ejemplo de una grieta,

entonces la probabilidad de recristalización a lo largo de la superficie de la grieta es muy alta. Esto afecta especialmente a las superficies, que están expuestas durante el proceso de preparación antes del ciclo de soldadura a un procesamiento mecánico, como por ejemplo una rectificación, chorreado con arena o chorreado con bolas.

5 A través de la recristalización se produce una nueva formación de granos en el material de base, es decir, que, por una parte, no se puede garantizar ya una estructura monocristalina o bien solidificada dirigida en el material de base y, por otra parte, los límites de los granos formados nuevos no son estables. De la misma manera, el material de soldadura se solidifica en estructura policristalina desordenada y, por lo tanto, presenta propiedades más empeoradas de manera desfavorable que el material de base monocristalino o bien solidificado dirigido.

10 Una estructura policristalina en el material de soldadura y una recristalización en el material de base solamente se pueden impedir cuando se consigue mantener la temperatura de soldadura suficientemente baja por debajo de un valor crítico.

15 Se conoce a partir del documento EP 1 759 806 A1 y a partir del documento US 2004/0050913 A1 reducir el punto de fusión de la soldadura a través de la reducción del tamaño de las partículas (a valores en la zona de nanómetros) de una aleación de soldadura, que está suspendida en un líquido portador, pero esto se realiza con el objetivo de reducir la porción de elementos reductores del punto de fusión, por ejemplo B y Si, en la aleación de soldadura o bien con la finalidad de eliminar estos elementos totalmente desde la aleación de soldadura, puesto que son responsables de manera desfavorable de la formación de fases frágiles, que provocan, entre otras cosas, una pérdida no deseada de la ductilidad del material.

20 El efecto, que se consigue con la utilización de polvo de soldadura en la zona de tamaños de nanómetros, se aprovecha aquí, por lo tanto, para sustituir los reductores del punto de fusión en el material. La reducción del punto de fusión de las partículas en la zona de tamaños de nanómetros se explica con la energía de activación baja para la liberación de átomos sobre la superficie de una partícula del tamaño de nanómetros en comparación con una partícula mayor. Además, las partículas nanométricas se funden más rápidamente que las partículas de polvo en la zona de nanómetros, puesto que presentan una relación muy grande entre superficie y volumen. En esta solución técnica es desfavorable que en virtud de la utilización exclusiva de partículas nanométricas como componente de soldadura sólido de la suspensión se produce una merma de retracción fuerte después de la soldadura y de esta manera a calidad del lugar de la soldadura necesita mejora.

25 Como otra posibilidad para la reducción adicional de la temperatura de fundición de las partículas nanométricas durante la reparación de componentes monocristalinos de superaleaciones por medio de soldadura se indica en el documento EP 1 759 806 A1 también la posibilidad de añadir reductores del punto de fusión, en particular boro, directamente a la suspensión de soldadura.

30 Además, se conoce a partir del documento US 2004/0050913 A1 un material de soldadura para la soldadura por difusión, que está constituido por una mezcla en polvo de partículas de material de relleno en la zona de tamaños de nanómetros (con preferencia entre 10 y 100 nm) y por partículas de polvo en la zona de tamaños de micrómetros (con preferencia entre 45 y 100 μm) en una suspensión portadora. Como ya se ha explicado anteriormente, las nanopartículas se funden a una temperatura, que está claramente por debajo de la temperatura de fundición de partículas con un tamaño de grano en la zona de micrómetros, de manera que en dicha publicación se alude expresamente de nuevo a que ahora de manera ventajosa se puede reducir la adición de elementos reductores del punto de fusión, como por ejemplo B o Si, a la aleación de soldadura o bien se puede prescindir totalmente de una adición de elementos reductores del punto de fusión y, por lo tanto, se reducen al mínimo o bien se eliminan totalmente las repercusiones negativas de los elementos reductores del punto de fusión sobre las propiedades resultantes de la unión soldada. A través de la reducción de la porción de elementos reductores del punto de fusión se reduce, además, también la porción de elementos adicionales de estabilización de los límites de los granos, como B, C, Hf, Re y Zr, en la aleación de soldadura.

35 En el documento US 2004/0050913 A1 se describe también que las nanopartículas de la soldadura pueden estar recubiertas sobre su superficie opcionalmente con una capa muy fina de elementos reductores del punto de fusión, como B o Si, de manera que, en general, sin embargo, la porción de elementos reductores del punto de fusión en la soldadura es siempre todavía esencialmente más baja en comparación con la porción de acuerdo con el estado conocido de la técnica, lo que se ha revelado como ventajoso en el documento mencionado.

40 Además, se conoce a partir del documento EP 1 930 116 A2 un procedimiento para la reparación de un componente metálico, que presenta una grieta. En este procedimiento se rellena en primer lugar una aleación de nanopartículas en forma de un polvo, de una lámina, de una suspensión o de una pasta en la grieta, además se aplica una aleación de relleno, que es al menos similar al material de base y presenta un tamaño de partículas en la zona de micrómetro y a continuación se somete a un proceso de soldadura por difusión habitual. Las nanopartículas están constituidas con preferencia de una aleación a base de Ni, Co o NiCo, que presenta con preferencia adicionalmente al menos un metal del grupo de Ti, Cr, Nb, Hf, Ta, Mo, W, Al, Fe. A través de la utilización de estos materiales se pueden reparar grietas grandes a temperaturas relativamente bajas, de manera que aquí se describe igualmente como ventaja que

se puede reducir el contenido de elementos reductores de la temperatura de fundición y de esta manera se mantienen las propiedades mecánicas de los componentes metálicos. En esta solución técnica es desfavorable que en virtud de la utilización exclusiva de nanopartículas en la grieta se produce una merma de la retracción fuerte después de la soldadura y de esta manera la calidad del lugar de soldadura necesitaría mejora.

5 Por último, en el documento EP 1 967 313 A1 se describe una soldadura para la reparación de componentes de turbinas, que presenta de la misma manera dos ingredientes en polvo, en la que el primer ingrediente representa un polvo con tamaños de grano en la zona de micrómetros (0,7 – 100 μm) y e segundo ingrediente representa un polvo con tamaños de grano en la zona de nanómetros (inferior o igual a 500 nm). De acuerdo con una variante de realización, el primer ingrediente de la soldadura, es decir, el polvo con un tamaño de grano en la zona de micrómetros, que es con preferencia una aleación, presenta un reductor del punto de fusión y en concreto especialmente sólo un reductor del punto de fusión del grupo siguiente: C, B, Hf, Si, Zr, Ti, Ta. No se hacen declaraciones sobre la cantidad de la porción del reductor del punto de fusión en la composición del primer polvo en el documento mencionado. La soldadura en forma de una pasta, de un conglomerado, en forma de polvo puro o por medio de una lámina se puede llevar sobre o bien dentro del lugar dañado. La diferencia en la temperatura de fundición de la soldadura con respecto a la temperatura del material de base debe ser lo más grande posible, al menos 70°C.

En el documento WO2008/095531 A1 se describen una composición de soldadura y un procedimiento de soldadura fuerte para superaleaciones. La composición de soldadura no presenta ningún reductor del punto de fusión, sino que está constituido a partir de un material de base, con preferencia níquel (o también MCrAlX), y al menos una fase de partida, con preferencia aluminio. Ahora se realiza un tratamiento térmico doble, siendo realizado el primer tratamiento térmico a una temperatura, a la que se funde la fase de partida (partículas más pequeñas de Al), pero no se funde el material de base. La fase de partida rodea entonces totalmente las partículas mayores de Ni. El segundo tratamiento térmico se realiza entonces por encima de una temperatura, a la que se forma al menos una fase resultante, aquí aluminuro de níquel, cuya temperatura sólida es más alta que la temperatura sólida de la fase de partida. Cuando la fase resultante después del segundo tratamiento térmico presenta propiedades mecánicas, que se aproximan a las propiedades mecánicas del material de base, se puede realizar una unión fiable, como por ejemplo cierre de una grieta. Por lo tanto, aquí solamente se pueden utilizar composiciones de soldadura específicas estrechamente limitadas, que dependen, además, en gran medida del contenido de Al.

También se conocen las llamadas nano-láminas que se pueden adquirir en el comercio con un espesor total de 40 a 150 μm , que se generan por medio de separación de vapor de una pluralidad de capas alternas separadas de Al y Ni (respectivamente, en la zona de tamaños de nanómetros). Una nano-lámina de este tipo se dispone entre dos componentes a unir, estando presente entre las superficies de la nano-lámina y las superficies de los componentes, respectivamente, una capa de material de soldadura, que puede estar aplicada, por ejemplo, sobre las superficies de los componentes. En primer lugar se aplica una presión determinada para impedir un resbalamiento de los componentes y luego se inicia, a través de un impulso de energía local directo reducido de fuente eléctrica, óptica o térmica, una reacción química entre las capas de Al y Ni en la nano-lámina (activación de la lámina). La lámina sirve ahora ella misma como fuente de calor, puesto que debido a dicha reacción química, la lámina suministra dentro de fracciones de un segundo de forma localizada un calor hasta temperaturas de 1500°C, lo que conduce a la fusión de las capas de soldadura adyacentes, de manera que los componentes a unir están unidos ahora por unión del material. Los componentes sensibles a la temperatura o componentes pequeños se pueden unir entre sí de esta manera sin daños térmicos, de manera que las láminas se emplean de forma predominante en el campo de la microelectrónica / optoelectrónica. También se pueden emplear bien para la unión de materiales con cerámica.

Representación de la invención

El objetivo de la invención es evitar los inconvenientes mencionados del estado de la técnica. La invención tiene el cometido de crear una lámina de soldadura mejorada frente a una lámina de soldadura amorfa fabricada por medio de procedimientos de hilado por fundición a partir del estado de la técnica para la soldadura a alta temperatura. También es un cometido de la invención indicar un procedimiento para la unión de al menos dos elementos componentes de superaleaciones monocristalinas o solidificadas dirigidas con objeto de la fabricación o bien de la reparación de componentes, en particular palas de turbinas de gas, utilizando la lámina de soldadura de acuerdo con la invención. La unión metálica por unión del material debe tener lugar en este caso a temperaturas más bajas, debe impedirse con seguridad una recristalización, la capacidad de fluencia del material de soldadura debe ser alta y deben poder cubrirse bien sobre todo también distancias grandes entre las superficies a soldar.

De acuerdo con la invención, esto se consigue en una lámina de soldadura amorfa, fabricada por medio de procedimientos de hilado por fundición conocidos a base de Ni, Co o Ni-Co para la soldadura a alta temperatura por que el lado superior y el lado inferior de la lámina de soldadura se recubren finas con una película de polvo metálico de soldadura a base de Ni, a base de Co o a base de Ni-Co con un tamaño de las partículas en la zona de nanómetros, en la que tanto la lamina de soldadura fabricada por medio de procedimientos de hilado por fusión como también el polvo de soldadura presentan adicionalmente elementos de estabilización de los límites de los

granos, con preferencia B, C, Hf, Re, Zr, como elementos de la aleación, ver la reivindicación 1.

Con la lámina de soldadura de acuerdo con la invención se reduce fuertemente de manera ventajosa, en virtud del tamaño de nanómetros de las partículas en la superficie la temperatura de fusión del material de soldadura y de esta manera al mismo tiempo se reduce la probabilidad de recristalización en el material de base adyacente, de manera que se puede emplear de forma predominante para la soldadura de componentes monocristalinos o bien endurecidos dirigidos. No obstante, si no se pudiese evitar una recristalización local en el material de base durante la soldadura, entonces en virtud de los elementos de estabilización de los límites de los granos presentes tiene lugar de manera muy eficiente una solidificación de los límites de los granos. El comportamiento de fluencia del material de soldadura es muy bueno. De esta manera se asegura que, por ejemplo, se rellenen los intersticios de unión irregulares de una manera óptima con la soldadura.

De acuerdo la invención, el cometido de la invención en un procedimiento para la fabricación o para la reparación de un componente, en particular palas de turbinas de gas, que está constituido por al menos dos elementos componentes de superaleaciones monocristalinas o solidificadas dirigidas a base de níquel, a base de cobalto o a base de níquel y cobalto como material de base, y los elementos componentes presentan superficies opuestas entre sí a unir se consigue por que se utiliza una lámina de soldadura de acuerdo con la invención (sin partículas de relleno sobre la superficie), la cual, después de una preparación mecánica precedente habitual de las superficies a unir, se aplica sobre al menos una de las superficies, a continuación se ensamblan en ajuste exacto las superficies de los elementos componentes bajo la configuración de un lugar de unión y se comprimen sobre la anchura del intersticio capilar, y luego se funde la soldadura por medio de un tratamiento térmico sencillo, es decir, sin refrigeración intermedia a temperatura ambiente (RT) y se refrigera a temperatura ambiente RT, de manera que se genera una conexión por unión de la materia del material de soldadura con las superficies de los elementos componentes, en el que el material de soldadura solidificado presenta en el lugar de unión la misma microestructura monocristalina o bien solidificada dirigida que el material de base circundante, ver las reivindicaciones 12 y 13.

De la misma manera, se puede unir una piezas de repuesto de superaleación monocristalina o solidificada dirigida en un componente dañado de superaleación monocristalina o solidificada dirigida.

Es ventajoso, por una parte, el proceso de soldadura sencillo (tratamiento térmico sin refrigeración(es) intermedia(s) a temperatura ambiente), por otra parte la temperatura de soldadura relativamente baja en virtud de la temperatura de soldadura baja del polvo nanométrico de soldadura o bien de la lámina de soldadura. Solamente existe un riesgo reducido de recristalización.

Con la lámina de soldadura de acuerdo con la invención se pueden realizar también conexiones por unión del material de alta calidad de artículos / componentes monocristalinos o bien solidificados dirigidos, cuyas superficies a unir tienen distancias relativamente grandes entre sí. Esto se consigue sobre todo cuando en el recubrimiento de la lámina de soldadura están contenidas adicionalmente partículas de relleno, es decir, cuando está presente una mezcla de polvo de nano-partículas y partículas de relleno sobre la superficie de la lámina.

No son necesarias de manera ventajosa aplicaciones de soldaduras múltiples con tratamientos térmicos múltiples correspondientes. Con la invención es posible dilatar reparaciones de palas de turbomáquinas térmicas en regiones más altamente solicitadas con un riesgo mínimo de recristalización.

También aquí tiene un interés especial que, por una parte, solamente es necesario un proceso de soldadura sencillo y, por otra parte, la temperatura de soldadura es relativamente baja en virtud de la temperatura de soldadura baja del material de soldadura. Solamente existe un riesgo bajo de recristalización.

En el caso de utilización de partículas de relleno grandes y/o de porciones más elevadas de las partículas de relleno en el recubrimiento de soldadura, se pueden soldar también sin problemas distancias mayores entre los elementos componentes, pero entonces sin la configuración de una microestructura epitáctica.

Además, es ventajoso que la lámina de soldadura y/o el polvo nanométrico de soldadura presente al menos un elemento reductor del punto de fusión con un contenido que es al menos tan alto como en las composiciones de soldadura habituales disponibles en el comercio.

Un contenido elevado de reductores del punto de fusión (hasta el doble que en las composiciones de soldadura habituales disponibles en el comercio, por ejemplo aproximadamente de 3 a 7 % en peso de B, hasta 15 % en peso de Si, hasta 15 % en peso de P) es en este caso especialmente ventajoso, porque entonces se intensifican la acción conocida del tamaño más reducido de los granos de las partículas de polvo sobre la reducción de la temperatura de fusión y la acción de los reductores del punto de fusión.

En una variante de realización, la lámina de soldadura puede contener sobre su superficie adicionalmente partículas de relleno, con un tamaño del grano en la zona de 1 a 30 μm y con una porción de mezcla en polvo total de 1 a 40 % en peso. Con preferencia, el tamaño de los granos de las partículas de relleno está en la zona de 1 a 15 μm y la porción de las partículas de relleno en la mezcla total está entre 5 y 20 % en peso. Entonces se pueden soldar

intersticios más anchos de manera especialmente ventajosa y, por lo tanto, se pueden cubrir distancias mayores entre las piezas a unir. Además, de acuerdo con el tipo y la porción del material de relleno empleado es posible influir sobre las propiedades de la zona soldada. No obstante, entonces el material de soldadura solidificado no presenta forzosamente la misma microestructura monocristalina o bien solidificada dirigida que el material de base circundante.

En una forma de realización, también las partículas de relleno pueden estar recubiertas finas en su superficie con partículas del polvo de soldadura. El recubrimiento del lado superior y del lado inferior de la lámina de soldadura y el recubrimiento de las partículas de relleno con las partículas del polvo de soldadura son especialmente ventajosos cuando el recubrimiento solamente comprende una capa hasta máximo 10 capas de las partículas del polvo de soldadura.

Breve descripción de los dibujos

En el dibujo se representa un ejemplo de realización de la invención. En éste se muestra esquemáticamente lo siguiente:

La figura 1 muestra una región dañada de una pala de turbina después de la reparación de acuerdo con el estado de la técnica.

La figura 2 muestra una región dañada de una pala de turbina después de la reparación de acuerdo con la presente invención.

La figura 3 muestra una lámina de soldadura de acuerdo con la invención en una primera variante de realización.

La figura 4 muestra una lámina de soldadura de acuerdo con la invención en una segunda variante de realización.

La figura 5 muestra una pala de turbina constituida de forma modular de acuerdo con la invención, y

La figura 6 muestra una pala de turbina con una pieza de inserción soldada de acuerdo con la invención.

Modos de realización de la invención

A continuación se explica en detalle la invención con la ayuda de ejemplos de realización y de los dibujos.

La figura 1 muestra esquemáticamente un lugar de unión 6 para la reparación de un componente 7 dañado de acuerdo con un procedimiento de soldadura de reparación convencional de acuerdo con el estado de la técnica. El componente 7 es en el presente caso una pala de turbinas de gas de un material básico monocristalino 10 y en concreto CMSX4 (10 % en peso de Co, 6,5 % en peso de Cr, 6,5 % en peso de Ta, 6 % en peso de W, 5,6 % en peso de Al, 2,9 % en peso de Re, 1 % en peso de Ti, 0,6 % en peso de Mo, 0,1 % en peso de Hf, el resto Ni. El lugar de unión 6 ha sido reparado con una lámina de soldadura 1 convencional, que ha sido fabricada con la ayuda de un procedimiento de hilado por fundición conocido a partir del estado de la técnica. La composición química del material de soldadura era la siguiente: 15 % en peso de Cr, 7,25 % en peso de Si, 1,4 % en peso de B, $\leq 0,06$ % en peso de C, resto Ni. Se puede reconocer claramente que la región de cristalización 9 está alrededor del intersticio de unión 6, allí no existe ninguna textura monocristalina ya en el material de base 10, es decir, que aquí las propiedades del material de base 10 se desvían claramente de los altos requerimientos.

La figura 2 muestra esquemáticamente el lugar de unión 6 del componente 7 de acuerdo con el procedimiento de soldadura de reparación de acuerdo con la invención con la lámina de soldadura de acuerdo con la invención. Se puede ver claramente en comparación con la figura 1 que falta la región recristalizada alrededor del lugar de unión 6 en el material de base 10, es decir, que el material de base 10 es monocristalina también después de la reparación, es decir, después de la soldadura del lugar de unión 6. Por lo tanto, esto se explica con relación a la figura 3.

En la figura 3 se representa de forma esquemática la lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención en una primera variante de realización. La lámina de soldadura 1 ha sido fabricada en primer lugar de la misma manera de acuerdo con el procedimiento de hilado por fundición, tiene una composición química a base de Ni, a base de Co o a base de Ni-Co y es adecuada para la soldadura a alta temperatura. La lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención se caracteriza por que el lado superior y el lado inferior de la lámina de soldadura 1 están recubiertos finos con una película de polvo de soldadura metálico 2 a base de Ni, a base de Co o a base de Ni-Co con un tamaño de las partículas en la zona de nanómetros, y por que la lámina de soldadura 1 (original) como también el polvo de soldadura 2 presentan adicionalmente elementos estabilizadores de los límites del grano, por ejemplo B, C, Hf, Re, Zr como elementos de aleación. En el sentido de la presente invención, se puede equiparar metálicamente con la aleación (a base de Ni, a base de Co, o bien a base de Ni-Co). El recubrimiento de la lámina de soldadura se puede aplicar en forma de polvo, como pasta o como suspensión.

En concreto, en este ejemplo de realización, la lámina de soldadura 1 fabricada por medio de procedimientos de hilado por fundición tenía la siguiente composición del material: 15,2 % en peso de Cr, 4 % en peso de B, 0,06 % en

peso de C, resto Ni.

El polvo de soldadura metálico 2 presentaba la siguiente composición: 15 % en peso de Cr, 10 % en peso de Co, 5,5 % en peso de Al, 3 % en peso de Ta, 3 % en peso de B, 0,15 % en peso de Y, resto Ni. El polvo 2 tenía una zona de tamaños de los granos de 20 a 50 nm y se aplicó en 5 capas sobre el lado superior y sobre el lado inferior de la lámina como película fina, como se indica en la parte superior izquierda de la figura 3.

Con la lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención se reduce en gran medida ahora de manera ventajosa, en virtud del tamaño nanométrico de las partículas en la superficie la temperatura de la fundición y de esta manera se reduce al mismo tiempo la probabilidad de recristalización, de modo que se puede emplear de manera predominante para la soldadura de componentes monocristalinos o bien solidificados dirigidos. No obstante, si no se pudiera evitar una recristalización local en el material de base 10 durante la soldadura, entonces en virtud de los elementos de estabilización de los tamaños de los granos tiene lugar de manera muy eficiente una solidificación de los tamaños de los granos. El comportamiento de fluencia de la lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención es muy bueno, porque también los intersticios de unión 6, como se representan en la figura 1, son rellenos de una manera óptima con la soldadura.

Evidentemente, la lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención se puede emplear también para soldaduras a alta temperatura de componentes fundidos convencionalmente.

Adicionalmente, al menos un elemento reductor del punto de fusión en la lámina de soldadura 1 y/o en el nano-polvo 2 puede estar contenido como elemento de la aleación con un contenido, que es al menos tan alto como en las composiciones de soldadura habituales disponibles en el comercio, con preferencia hasta el doble de alto. Por ejemplo, la porción puede ser aproximadamente de 3 a 7 % en peso de B hasta 15 % en peso de Si, hasta 15 % en peso de P.

Entonces se intensifican de manera ventajosa la acción del tamaño reducido de los granos de las partículas de polvo 2 sobre la reducción de la temperatura de fundición y la acción de los reductores del punto de fusión.

En la figura 4 se representa esquemáticamente la lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención en otra variante de realización. En comparación con la variante representada en la figura 3, aquí están contenidas adicionalmente partículas de relleno 4, que están constituidas del material de base 10 o bien a partir de derivados del material de base, en el recubrimiento de la lámina de soldadura 1, es decir, que el nano-polvo 2 está mezclado con las partículas de relleno 4. Las partículas de relleno 4 tienen con preferencia un tamaño del grano en la zona de 1 a 30 μm y una porción en la mezcla total de polvo de 1 a 40 % en peso. Con ventaja, el tamaño de los granos de las partículas de relleno 4 está en la zona de 1 a 15 μm y la porción de las partículas de relleno 4 en la mezcla de polvo está entre 5 y 20 % en peso. De esta manera, se pueden soldar intersticios de unión 6 especialmente más anchos y, además, de acuerdo con el tipo y la porción del material de relleno empleado es posible influir sobre las propiedades de la zona soldada. Sin embargo, entonces en virtud de las partículas de relleno 4 grandes presentes hay que contar con que el material de soldadura no es ya monocristalino o bien está endurecido dirigido como el material de base circundante.

Las partículas de relleno 4 pueden estar recubiertas finas adicionalmente sobre su superficie con partículas de la nano-partícula 2 (ver la parte superior izquierda de la figura 4). El recubrimiento del lado superior y del lado inferior de la lámina 1 o bien el recubrimiento de las partículas de relleno 4 con las partículas del primer ingrediente del polvo 2 son especialmente ventajosos cuando comprenden solamente una capa a máximo 10 capas de las partículas, porque éstas comienzan a fundirse entonces muy fácilmente.

Cuando, por ejemplo, en un ejemplo de realización preferido, debe repararse una pala de turbina de gas (componente 7) de una superaleación monocristalina a base de Ni como consecuencia de un daño que se ha producido durante el funcionamiento, entonces se utiliza para la reparación del componente 7 dañado la lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención (sin partículas de relleno 4). La lámina de soldadura 1 se aplica después de una limpieza previa habitual del lugar de unión 6 sobre éste, luego se funde por medio de un tratamiento térmico sencillo (es decir, sin refrigeraciones intermedias a RT), que se desarrolla en varias fases y finalmente se refrigera a RT, de manera que se genera una conexión por unión de la materia del material de soldadura con el material de base 10 circundante del componente 7, de manera que el material de soldadura solidificado presenta la misma microestructura monocristalina o bien dirigida que el material de base 10 circundante. El tratamiento térmico utilizado en este caso (en el horno de vacío) se menciona a modo de ejemplo para la idea en la que se basa la invención: la tasa de calentamiento es de 10 a 15 $^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$, a 400 $^{\circ}\text{C}$ se mantuvo constante la temperatura durante 30 minutos, para quemar los ingredientes volátiles de la pasta de soldadura sobre la superficie de la lámina de soldadura (1). Para asegurar una distribución uniforme de la temperatura en el horno, se mantuvo la temperatura constante a 930 $^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos. El proceso de soldadura propiamente dicho se realizó a 1050 $^{\circ}\text{C}$ durante 20 minutos. A continuación se redujo la temperatura lentamente (1 a 3 $^{\circ}\text{C}$) a 1000 $^{\circ}\text{C}$ y se mantuvo constante durante 10 horas para posibilitar una solidificación dirigida y monocristalina. La refrigeración siguiente a temperatura ambiente se realizó rápidamente (aproximadamente 30 $^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$).

Por una parte, es ventajoso un proceso de soldadura sencillo, por otra parte es ventajosa la temperatura relativamente baja en virtud de la temperatura baja de fusión del material de soldadura. Solamente existe un riesgo reducido de recristalización en el material de base 10 así como una estabilización de eventuales límites de los granos, en el caso de que deban formarse, sin embargo, límites de los granos.

- 5 Si se sueldan intersticios anchos (por ejemplo, 250 μm de anchura del intersticio), entonces apenas existe ninguna retracción cuando están presentes partículas de relleno 4 en el recubrimiento de la lámina de soldadura 1. Sin embargo, entonces el material de soldadura solidificado no presenta forzosamente la misma microestructura monocristalina o bien solidificada dirigida que el material de base circundante, sin que se endurezca con preferencia de forma policristalina.
- 10 De manera ventajosa, con el procedimiento de acuerdo con la invención no son necesarias aplicaciones múltiples con tratamientos térmicos múltiples correspondientes.

Con la invención es posible dilatar las reparaciones de palas de turbomáquinas térmicas sobre regiones altamente solicitadas con un riesgo mínimo de recristalización o bien con estabilización de los límites de los granos eventualmente aparecidos.

- 15 Debido a la presencia del polvo de soldadura 2 en la zona de los tamaños de los granos de nanómetros sobre el lado superior y el lado inferior de la lámina de soldadura 1 y los reductores de los polvos de soldadura se consigue una unión metálica a temperaturas más bajas. La difusión de los reductores del punto de fundición desde las partículas metálicas de polvo de soldadura se mantiene durante el servicio de la turbina de gas. Puesto que las regiones con la recristalización incipiente se encuentra en la superficie del componente y tienen solamente dimensiones pequeñas, el recorrido reducido de la difusión de los elementos estabilizadores de los límites del grano durante el ciclo de soldadura es suficiente para estabilizar localmente los límites de los granos, incluso cuando la difusión desde las partículas de soldadura mayores no ha terminado todavía durante el tratamiento térmico.
- 20

- En la figura 5 se representa una pala de turbina nueva constituida de forma modular de acuerdo con la invención como otro ejemplo de realización. La pala de turbina acabada se puede ver en la imagen parcial derecha de la figura 5. Puesto que es difícil y caro fabricar componentes 7 monocristalinos grandes se necesitan también nuevos procedimientos para la fabricación de componentes 7 constituidos de forma modular, en particular palas de turbinas de gas, que están constituidas por al menos dos elementos componentes 7.1, 7.2 de superaleaciones monocristalinas o solidificadas dirigidas a base de níquel, a base de cobalto o a base de níquel y cobalto. De acuerdo con la imagen parcial izquierda de la figura 5, el componente 7.1 representa la pata de la pala, en la que está dispuesto un orificio para el alojamiento del componente 7.2 (= hoja de pala con la sección de pata ausente en el componente 7.1). Los elementos componentes 7.1, 7.2 presentan superficies 8.1; 8.2 opuestas entre sí a unir, que deben unirse entre sí por unión del material sin fallos. En este caso, se utiliza una lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención sin partículas de relleno 4, que se aplica después de una preparación mecánica previa habitual de las superficies 8.1; 8.2 a unir sobre al menos una de las superficies 8.1; 8.2. El elemento componente 7.1 se acopla a continuación en ajuste exacto sobre el elemento componente 7.2 y dado el caso se presionan ambos elementos componentes 7.1; 7.2 entre sí, de manera que solamente todavía está presente una anchura máxima del intersticio capilar de aproximadamente 120 μm . Entonces se realiza un tratamiento térmico sencillo, en el que se funde el material de soldadura y a continuación se refrigera a RT, de manera que se genera una conexión por unión de la materia del material de soldadura con las superficies 8.1; 8.2 de los elementos componentes 7.1; 7.2, presentando el material de soldadura solidificado la misma microestructura monocristalina o bien dirigida que el material de base 10 circundante.
- 25
- 30
- 35
- 40

- De la misma manera, se puede unir epitácticamente una pieza de repuesto 5 de superaleación monocristalina endurecida dirigida en un componente 7 dañado de superaleación monocristalina o endurecida dirigida (ver la figura 6). Después de la separación del material dañado fuera del componente 7 y después de una preparación mecánica previa habitual de las superficies a unir del componente 7 y de la pieza de repuesto 5 se aplica una lámina de soldadura 1 de acuerdo con la invención sin partículas de relleno 4 sobre al menos una de las superficies a unir. En el presente ejemplo de realización, se trata de las superficies de la pieza de repuesto 5. La pieza de repuesto 5 se inserta entonces con la lámina de soldadura 1 aplicada en el componente 7, aquí una pala de turbina de gas, en el lugar, en el que se ha retirado previamente el material dañado (ver la flecha en la imagen parcial izquierda de la figura 6) y, dado el caso, presiona, de manera que solamente está presente todavía una anchura máxima del intersticio capilar reaproximadamente 120 μm . Por medio de un tratamiento térmico sencillo de varias fases (sin refrigeraciones intermedias a RT) se funde entonces el material de soldadura. Durante la refrigeración siguiente a RT se produce una conexión por unión de la materia del material de soldadura con las superficies del componente 7 y de la pieza de repuesto 5, de manera que el material de soldadura solidificado presenta la misma microestructura monocristalina o bien dirigida que el material de base 10 circundante. El componente 7 reparado se representa en la imagen parcial derecha de la figura 6.
- 45
- 50
- 55

También aquí es especialmente ventajoso que, por una parte, sea necesario solamente un proceso de soldadura sencillo y que, por otra parte, la temperatura de soldadura sea relativamente baja en virtud de la temperatura de

fundición baja de la lámina de soldadura. Solamente existe un riesgo reducido de recristalinación.

5 En el caso de aplicación adicional de partículas de relleno grandes en el recubrimiento de la lámina de soldadura y/o en el caso de utilización de una porción alta de partículas de relleno, se pueden soldar también distancias grandes (hasta 500 μm) entre los elementos componentes sin problemas, pero entonces no son previsible microestructuras epitácticas (en el caso de distancias por encima de la anchura de la grieta capilar). Se consigue un relleno homogéneo de los huecos entre las superficies a soldar con la lámina de soldadura a una temperatura de soldadura al mismo tiempo reducida, lo que posibilita una unión metalúrgica fija de los segmentos a unir.

Lista de signos de referencia

10	1	Lámina de soldadura
	2	Polvo metálico de soldadura (con tamaños de grano en la zona de nanómetros)
	4	Partículas de relleno
	5	Pieza de sustitución
	6	Intersticio de unión
15	7	Componente
	7.1; 7.2	Elemento componente
	8.1; 8.2	Superficies opuestas a unir
	9	Región de recristalización
20	10	Material de base

REIVINDICACIONES

- 1.- Lámina de soldadura (1) amorfa fabricada por medio de procedimientos de hilado por fundición a base de Ni, a base de Co o a base de Ni-Co para la soldadura a alta temperatura, en la que la lámina de soldadura (1) presenta un lado superior y un lado inferior, caracterizada por que el lado superior y el lado inferior de la lámina de soldadura (1) están recubiertas finas con una película de polvo metálico de soldadura (2) a base de Ni, a base de Co o a base de Ni-Co con un tamaño de las partículas en la zona de nanómetros, en la que tanto la lámina de soldadura (1) como también el polvo de soldadura (2) presentan adicionalmente elementos de estabilización de los límites de los granos como elementos de la aleación.
- 2.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que como elemento de estabilización de los límites de los granos se selecciona al menos uno del grupo B, C, Hf, Re, Zr.
- 3.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizada por que la lámina de soldadura (1) y/o el polvo de soldadura (2) presentan al menos un elemento reductor del punto de fusión con un contenido, que es al menos tan alto como en las composiciones de soldadura habituales disponibles en el comercio.
- 4.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizada por que el contenido de elementos reductores del punto de fusión es hasta el doble de alto que en las composiciones de soldadura habituales disponibles en el comercio.
- 5.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, caracterizada por que como elemento reductor del punto de fusión se selecciona al menos uno del grupo B, Si, P o combinaciones de ellos.
- 6.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizada por que la porción de boro está entre aproximadamente 3 % y 7 % en peso, la porción de Si es hasta 15 % en peso y la porción de P es hasta 15 % en peso.
- 7.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada por que el recubrimiento de la lámina de soldadura (1) presenta adicionalmente partículas de relleno (4) con un tamaño de los granos en la zona de 1 a 30 μm y con una porción de mezcla de polvo de 1 a 40 % en peso.
- 8.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por que el tamaño de los granos de las partículas de relleno (4) está entre 1 y 15 μm .
- 9.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por que la porción de las partículas de relleno (4) en la mezcla de polvo está entre 5 y 20 % en peso.
- 10.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por que las partículas de relleno (4) están recubiertas finas en su superficie con partículas del polvo de soldadura (2).
- 11.- Lámina de soldadura (1) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 10, caracterizada por que el recubrimiento del lado superior y del lado inferior de la lámina de soldadura (1) y el recubrimiento de las partículas de relleno (4) con las partículas del polvo de soldadura (2) comprende solamente una capa hasta máximo 10 capas de las partículas del polvo de soldadura (2).
- 12.- Procedimiento para la fabricación o para la reparación de un componente (7), en particular palas de turbinas de gas, que está constituido por al menos dos elementos componentes (7.1; 7.2) de superaleaciones monocristalinas o solidificadas dirigidas a base de níquel, a base de cobalto o a base de níquel y cobalto como material de base (10), en el que los elementos componentes (7.1; 7.2) presentan superficies (8.1; 8.2) opuestas entre sí a unir, utilizando una lámina de soldadura (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que después de una preparación mecánica precedente habitual de las superficies (8.1; 8.2) a unir, se aplica la lámina de soldadura (1) recubierta sobre al menos una de las superficies (8.1; 8.2), a continuación se ensamblan en ajuste exacto las superficies (8.1; 8.2) de los elementos componentes (7.1; 7.2) bajo la configuración de un lugar de unión (6) y se comprimen, y luego por medio de un tratamiento térmico sencillo se funde el material de soldadura y se refrigera a temperatura ambiente y de manera que se genera una conexión por unión de la materia del material de soldadura con las superficies (8.1; 8.2) de los elementos componentes (7.1; 7.2), en el que el material de soldadura solidificado presenta en el lugar de unión (6) la misma microestructura monocristalina o bien solidificada dirigida que el material de base (10) circundante.
- 13.- Procedimiento para la reparación de un componente (7), en particular palas de turbinas de gas, que está constituido a partir de una superaleación monocristalina o solidificada dirigida a base de níquel, a base de cobalto o a base de níquel y cobalto como material de base (10), a través de la inserción de una pieza de repuesto (5) en el componente (7) a reparar, en el que la pieza de repuesto (5) está constituida por una superaleación monocristalina o solidificada dirigida a base de níquel, a base de cobalto o a base de níquel y cobalto como material de base (10), utilizando una lámina de soldadura (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que después de una

- 5 preparación mecánica precedente habitual de las superficies a unir del componente (7) y de la pieza de inserción (5), se aplica la lámina de soldadura (1) recubierta sobre al menos una de las superficies a unir, se introduce la pieza de repuesto (5) bajo la configuración de un lugar de unión (6) en el componente 7 y, dado el caso, se introduce a presión, y a continuación se funde el material de soldadura por medio de un tratamiento térmico sencillo y se refrigera a temperatura ambiente, de manera que se genera una conexión por unión de la materia del material de soldadura con las superficies del componente (7) y de la pieza de repuesto (5), en el que el material de soldadura solidificado presenta en el lugar de unión (6) la misma microestructura monocristalina o bien solidificada dirigida que el material de base (10) circundante.

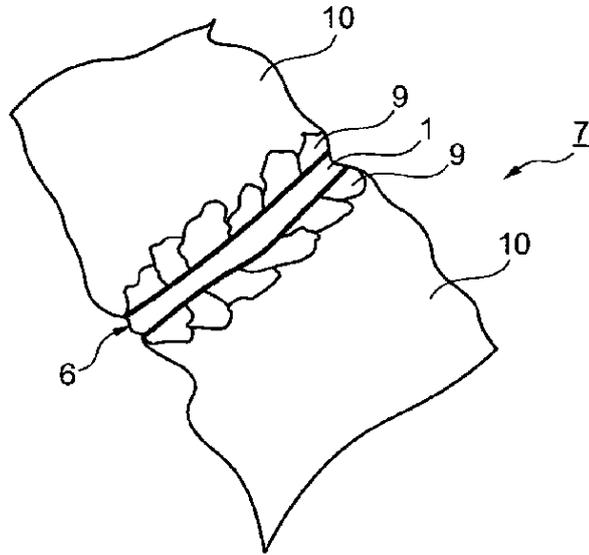


Fig. 1

Estado de la Técnica

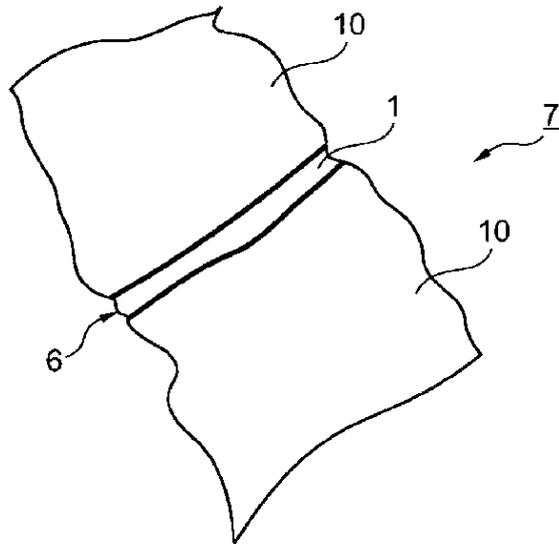


Fig. 2

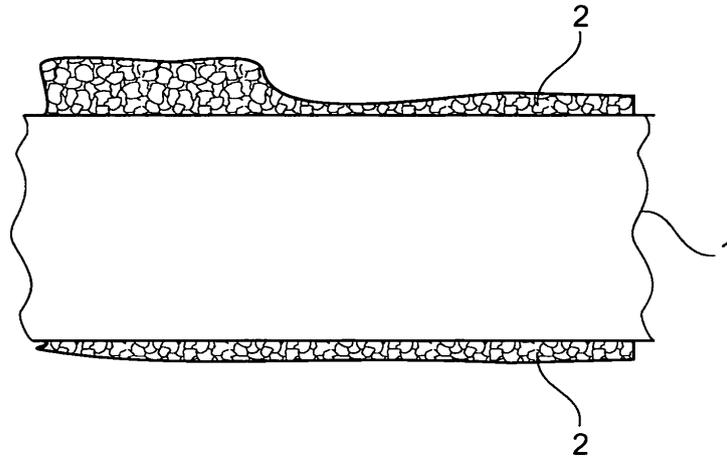


Fig. 3

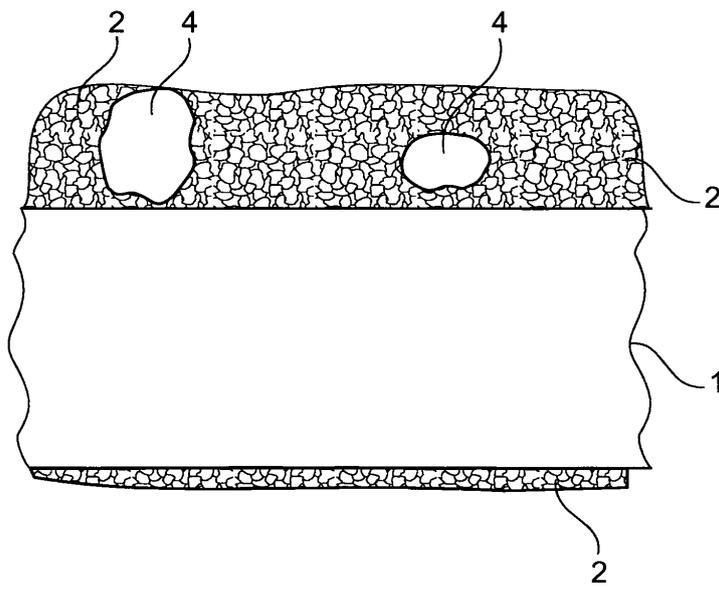


Fig. 4

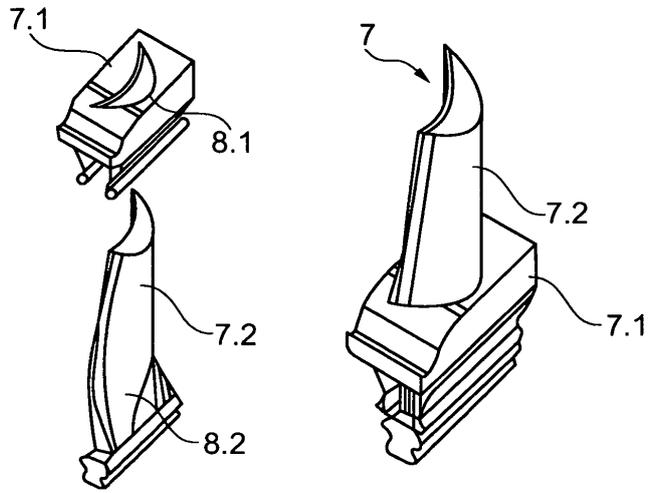


Fig. 5

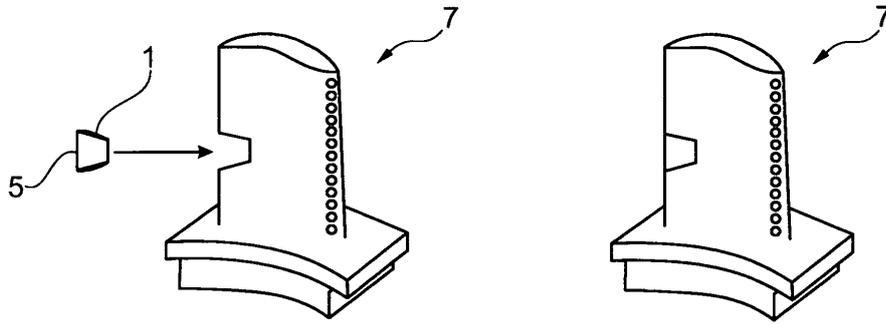


Fig. 6