

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 080**

51 Int. Cl.:

**B23P 6/00** (2006.01)

**C23C 24/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2012 E 12720582 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015 EP 2688708**

54 Título: **Método para reparar un componente de aleación de aluminio**

30 Prioridad:

**24.03.2011 IT TO20110257**

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

**16.11.2015**

73 Titular/es:

**GE AVIO S.R.L. (100.0%)  
Via I Maggio, 99  
Rivalta di Torino, IT**

72 Inventor/es:

**ZANON, GIOVANNI PAOLO y  
VEZZU', SIMONE**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 551 080 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**

Método para reparar un componente de aleación de aluminio

5 La presente invención se refiere a un método para reparar un componente de aleación de aluminio, en particular un componente de aleación de aluminio endurecida por precipitación.

10 Como es conocido, los componentes aeronáuticos, en general, se someten durante el uso a altos niveles de esfuerzo mecánico y por lo tanto deben tener propiedades mecánicas específicas, en particular en términos de resistencia mecánica a temperatura alta, dureza y resistencia al desgaste.

15 En particular, esta necesidad se deja sentir con componentes como cajas de transmisión de potencia o accesorios para motores aeronáuticos y de helicóptero. Dichos componentes se hacen típicamente de aleaciones de aluminio ligeras endurecidas por precipitación.

20 Frecuentemente, dichos componentes precisan ser reparados. Esto puede tener lugar en las varias fases de fabricación de componentes nuevos, por ejemplo al nivel de producción de las piezas fundidas, productos semiacabados o después de una fase de maquinado, por razones dimensionales o debido a daño local resultante del manejo o el transporte, o debido a defectos metalúrgicos como porosidad, fisuras o inclusiones. Además, los componentes acabados se tienen que reparar frecuentemente después de un período de operación debido a problemas de desgaste, corrosión, impactos indeseados u otros.

25 La reparación de componentes de aleación de aluminio se lleva a cabo tradicionalmente usando varias tecnologías incluyendo: reparación por deposición de material de soldadura (soldadura TIG, revestimiento con láser, etc); aplicación de resinas de alta resistencia; ajuste de interferencia (para recuperación de diámetros internos sobredimensionados por medio de casquillo); técnicas de deposición por pulverización térmica.

Dichas tecnologías tienen varios inconvenientes, como se ilustrará más adelante.

30 Las técnicas de reparación basadas en soldadura se usan ampliamente para la reparación de componentes bastos antes del tratamiento térmico. Tienen la indudable ventaja de producir una unión metalúrgica con el material del sustrato, pero son difíciles de aplicar a la reparación de componentes que ya han sido maquinados, debido a las deformaciones producidas por la soldadura. Además, en particular para aleaciones de aluminio endurecidas por precipitación, el material de soldadura tiene una microestructura muy diferente y propiedades mecánicas significativamente inferiores con respecto al sustrato.

35 Las técnicas de reparación por aplicación de resinas poliméricas de alta resistencia tienen una limitada aplicabilidad debido a la desemejanza evidente entre el material metálico base y el material suministrado, que consta sustancialmente de una resina orgánica. Además, las altas temperaturas de polimerización de algunas resinas tipo epoxi, que pueden ser del orden de 200°C, pueden producir un deterioro indeseable de las características mecánicas de algunas aleaciones ligeras endurecidas por precipitación.

40 Las técnicas de reparación basadas en ajuste de interferencia se usan por lo general para recuperar diámetros internos desgastados o sobredimensionados, pero este tipo de aplicación está limitada evidentemente por factores geométricos y estructurales.

45 La reparación de componentes hechos de aluminio o aleaciones relativas por medio de técnicas de pulverización térmica implica la deposición de material suministrado en la que las partículas del material a depositar se ponen a una temperatura alta que hace que se fundan. En consecuencia, esta tecnología tiene la desventaja, con respecto a la deposición de polvo de aluminio, de favorecer la oxidación de las partículas fundidas en contacto con el oxígeno atmosférico.

50 Además, las propiedades mecánicas de la porción de material suministrado son claramente inferiores a las del sustrato, y también la calidad de la adhesión relativa es por lo general insatisfactoria.

55 Para poner remedio a este inconveniente, la pulverización térmica para la reparación de aleaciones de aluminio se lleva a cabo a menudo depositando materiales diferentes del material base. A menudo se usan polvos de bronce o aleaciones de Ni-Al. Sin embargo, la aplicación de materiales diferentes del material base implica otros problemas conectados con el diferente comportamiento de los materiales disimilares durante los procesos de terminación de la fabricación de componentes (por ejemplo, en el caso de aplicación del proceso de oxidación de ánodo del componente de aluminio) o durante la operación (por ejemplo, debido a efectos de la corrosión galvánica acelerada, coeficientes de expansión térmica diferencial, etc).

60 Otra desventaja de las técnicas de reparación por procesos tradicionales de pulverización térmica (pulverización con plasma, HVOF, pulverización térmica, pistola D, etc) deriva del hecho de que la temperatura del sustrato debe ser supervisada con mucho esmero al objeto de evitar que se alcancen temperaturas excesivas con el consiguiente

posible deterioro de las propiedades mecánicas. De hecho, es conocido que las aleaciones de aluminio, en particular las endurecidas por precipitación de fases de endurecimiento, pueden perder rápidamente sus características de resistencia a la tracción y resistencia a la deformación después del calentamiento a temperaturas más altas que las temperaturas de precipitación.

5 EP1674595 describe un método para reparar componentes incluyendo los pasos de proporcionar un componente que tiene un defecto a reparar y depositar un material de reparación conteniendo aluminio sobre una zona afectada en una superficie del componente 10 de modo que el material de reparación se deforme plásticamente y se una a la zona afectada al impacto con la zona afectada y por ello cubra la zona afectada.

10 EP2204473 describe un proceso para reparar componentes que incluye los pasos de proporcionar un componente que tiene una zona afectada en una superficie de un componente a reparar; depositar un material de reparación sobre la zona afectada en la superficie del componente de modo que el material de reparación se deforme plásticamente sin fusión y se una a la zona afectada al impacto con la zona afectada y por ello cubra la zona  
15 afectada; proporcionar una solución anodizante a base de ácido sulfúrico; anodizar un material de reparación depositado sobre la superficie del componente en la solución anodizante a base de ácido sulfúrico; consumir solamente una porción del material de reparación depositado para formar una capa de recubrimiento anodizada dura sobre el material de reparación depositado para formar un componente recubierto anodizado duro; proporcionar una solución sellante resistente a la corrosión; y poner un componente recubierto anodizado duro en contacto con la  
20 solución sellante resistente a la corrosión para formar un recubrimiento sellante resistente a la corrosión sobre el componente recubierto anodizado duro.

Por lo tanto, se observa en el sector la necesidad de proporcionar un método para la reparación de componentes de  
25 aleación de aluminio, en particular componentes de aleación de aluminio endurecida por precipitación, que supere al menos uno de los inconvenientes descritos previamente.

Más específicamente se siente, especialmente en el sector aeronáutico, la necesidad de proporcionar un método para la reparación de componentes de aleación de aluminio que dé a los componentes reparados características  
30 mecánicas que cumplan los requisitos de las condiciones de uso concretas, con referencia especial a la uniformidad de las propiedades entre el material que forma el soporte (o el componente a reparar) y la porción de material suministrado, y su adhesión relativa.

Además, se siente en el sector la necesidad de proporcionar un método para la reparación de componentes de  
35 aleación de aluminio, en particular componentes de aleación de aluminio endurecida por precipitación, que requiera una inversión baja en planta y reducidos costos de gestión y mantenimiento y que pueda garantizar una alta productividad.

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar un método para la reparación de componentes de  
40 aleación de aluminio endurecida por precipitación, satisfaciendo dicho método de forma simple y económica al menos una de dichas necesidades.

Dicho objeto se logra con la presente invención, en cuanto que se refiere a un método definido en la reivindicación  
1.

45 Para una mejor comprensión de la presente invención, su realización preferida se describe a continuación, puramente a modo de ejemplo no limitador.

Ventajosamente, un componente de aleación de aluminio y, en particular, un componente de aleación de aluminio  
50 endurecida por precipitación, se repara depositando por pulverización en frío una porción de material suministrado sobre el componente a reparar, obteniendo así un componente parcialmente reparado.

En el contexto de la invención, "componente a reparar" indica un componente de aleación de aluminio que requiera  
reparación, independientemente del estado de maquinado de dicho componente.

55 "Independientemente del estado de maquinado de dicho componente" indica que el componente a reparar puede estar, con referencia al proceso de fabricación relativo: en el estado basto; en el estado de un producto semiacabado; acabado; o incluso un componente acabado que ya haya estado operando y que requiera reparación para remediar el daño producido durante la operación in situ.

60 El "componente a reparar" constituye el sustrato de la fase de deposición por pulverización en frío, que se describirá con más detalle más adelante.

Después del paso de depositar la porción de material suministrado sobre el componente a reparar, se obtiene un  
"componente parcialmente reparado".

65 La deposición por pulverización en frío es una técnica relativamente reciente que implica la deposición de materiales

metálicos en forma de polvo. Sin embargo, a diferencia de los procesos de pulverización térmica, en la deposición por pulverización en frío el material suministrado permanece en el estado sólido sin llegar a las condiciones de fusión.

5 Típicamente, según esta técnica, se inyecta un polvo metálico o una mezcla de polvos metálicos que tiene una composición predefinida mediante una boquilla y se aplica a un sustrato, que experimenta aceleración en el estado no fundido, a velocidades del orden de  $300 \div 1.200$  m/s por medio de un flujo de gas portador que cruza la boquilla. Al impactar con el sustrato con suficiente energía cinética, las partículas del polvo deforman localmente el sustrato y se deforman.

10 En el contexto de la invención, el componente a reparar forma el “sustrato” sobre el que se deposita el polvo metálico que constituye una “porción de material suministrado”.

15 Preferiblemente, el polvo metálico o la mezcla de polvos metálicos usados para depositar la porción de material suministrado tiene una composición sustancialmente idéntica a la del sustrato (es decir, el componente a reparar). El uso de material suministrado con composición sustancialmente idéntica a la del sustrato tiene la ventaja de minimizar las diferencias en el comportamiento entre el sustrato y el material suministrado, restableciendo todo lo posible las condiciones del componente reparado con respecto al componente nuevo.

20 Por razones físicas y químico físicas, la técnica de deposición por pulverización en frío favorece la formación de una porción de material suministrado que es compacta y se adhiere fijamente al sustrato. En particular, este resultado ventajoso es promovido por la interpenetración recíproca de material suministrado y sustrato y la rotura, en el momento del impacto, de las capas superficiales finas de óxido que, en la práctica, siempre están presentes en los materiales expuestos a la atmósfera exterior.

25 Este aspecto es especialmente ventajoso en el caso de la reparación de componentes dañados durante la operación, o cuando han sido expuestos durante un período prolongado a condiciones atmosféricas agresivas.

30 Típicamente, en la técnica de deposición por pulverización en frío, se usa un flujo de gas comprimido a una presión de aproximadamente  $5 \div 50$  bar. Este flujo de gas envuelve las partículas de polvo metálico y las arrastra, expulsándolas a través de la boquilla a alta velocidad. Opcionalmente, al menos una parte del flujo de gas es calentado antes de llegar a la boquilla de aplicación.

35 Se usa preferiblemente un gas inerte monoatómico como helio como el gas portador. El helio tiene la doble ventaja de permitir, como un gas monoatómico, la aceleración de las partículas a las velocidades más altas y simultáneamente, debido a su inercia, excluir la posibilidad de oxidación del polvo metálico. Sin embargo, dado que los tiempos de contacto entre los componentes de la mezcla de polvos metálicos y el gas portador son muy limitados, también es posible utilizar gases portadores más baratos, como nitrógeno o aire, aunque, a la misma presión, las velocidades que pueden alcanzar las partículas son inferiores a las que se pueden alcanzar con helio.

40 La temperatura de deposición es típicamente lo más baja posible, compatible con la necesidad de obtener un nivel mínimo de deformación de las partículas de polvo pulverizadas.

45 La dimensión media de las partículas metálicas que forman el polvo depositado se puede elegir ventajosamente en el rango de entre 1 y 200  $\mu\text{m}$ .

Por lo tanto, esta técnica favorece por naturaleza la formación de una porción de material suministrado que tiene un nivel de porosidad bajo y buenas características de adhesión frente al material que constituye el soporte.

50 En el caso de componentes de aleación de aluminio y, más específicamente, componentes de aleación de aluminio endurecida por precipitación, la porción de material suministrado depositada por pulverización en frío tiene típicamente una fragilidad alta y tensiones internas altas que no son completamente satisfactorias en vista del uso en el sector aeronáutico.

55 En general, una falta significativa de uniformidad en términos de las propiedades mecánicas y las características microestructurales se halla típicamente entre el sustrato y la porción de material suministrado depositado por pulverización en frío. Esta falta de uniformidad es indeseable en vista del uso previsto de los componentes.

60 Además, la calidad de la adhesión entre la porción de material suministrado depositado y el sustrato, aunque es por lo general mejor que otras técnicas de deposición por pulverización térmica, es por lo general limitada.

Ventajosamente, según la invención, el método para la reparación de componentes de aleación de aluminio incluye además el paso de someter el componente parcialmente reparado obtenido de la fase de deposición por pulverización en frío a un tratamiento térmico, obteniendo así un componente reparado.

65 Dicho tratamiento térmico tiene la finalidad de mejorar las características mecánicas de la porción de material

suministrado, con el objetivo de reducir la falta de uniformidad entre la porción de material suministrado y el sustrato. Además, dicho tratamiento térmico se ha concebido con el fin de mejorar la calidad de la adhesión entre la porción de material suministrado y el sustrato.

5 Ventajosamente, según la invención, un componente reparado se somete a un tratamiento térmico específico, cuyas condiciones de funcionamiento han sido seleccionadas según la composición y las tolerancias dimensionales de dicho componente a reparar. Además, también será posible tener en cuenta el uso final del componente, una vez reparado.

10 Si el componente a reparar tiene tolerancias dimensionales suficientemente amplias para permitir cualesquiera deformaciones producidas por el tratamiento térmico, el componente parcialmente reparado se somete ventajosamente al tratamiento térmico específico de la aleación, incluyendo:

- 15
- un primer paso de solubilización seguido de enfriamiento rápido; y
  - un segundo paso de precipitación, que sigue al primero.

20 Si el componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Si, tipo 355, 356 o 357, la primera fase de solubilización se realiza preferiblemente a una temperatura de 500 a 580°C, más preferiblemente de 530°C a 550°C, durante un tiempo en el rango de entre 6 y 20 horas, mientras que la fase de precipitación se realiza preferiblemente a una temperatura de 100 a 300°C, más preferiblemente de 150°C a 230°C, durante un tiempo en el rango de entre 3 y 12 horas.

25 Si el componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Cu, tipo 2014, 2618, 2024, el primer paso de solubilización se realiza preferiblemente a una temperatura de 400 a 600°C, más preferiblemente de 460°C a 535°C, durante un tiempo en el rango de entre 1 y 3 horas, mientras que el paso de precipitación se realiza preferiblemente a una temperatura de 150 a 250°C, más preferiblemente de 160°C a 200°C, durante un tiempo en el rango de entre 8 y 20 horas.

30 A continuación se exponen algunos ejemplos de las ventajas que se puede obtener con la aplicación de todo el tratamiento térmico de solubilización y envejecimiento en piezas de prueba hechas de aleación de aluminio-silicio 357 reparadas por medio de pulverización en frío usando polvo de aleación de aluminio-silicio 357 como el material suministrado:

35 Ejemplo 1a: Reparación de componentes bastos en aleación de aluminio-silicio 357 ya sometidos a tratamiento térmico completo de solubilización y precipitación (envejecimiento).

40 La resistencia mecánica de la aleación de aluminio-silicio 357 con el tratamiento térmico completo, medida en piezas de prueba cilíndricas con un diámetro de 9,0 mm según ASTM B557, es de media 307 MPa.

Para simular un defecto a reparar, la sección de trabajo de algunas piezas de prueba se maquinó de nuevo, creando una ranura circunferencial de profundidad tal que redujese la zona resistente a 49% de la zona original. La resistencia mecánica media medida en estas piezas de prueba era 179 MPa.

45 Las piezas de prueba con defecto simulado se repararon por medio de pulverización en frío depositando una capa de polvo de aleación de aluminio 357 de grosor suficiente para llenar completamente la ranura circunferencial. Después de quitar la capa excedente de la sección de trabajo de las piezas de prueba, con el fin de restablecer el diámetro original de 9,0 mm, la resistencia mecánica medida en las piezas de prueba reparadas era de media 226 MPa. Piezas de prueba análogas reparadas por pulverización en frío y sometidas, después de la reparación, a tratamiento de solubilización térmica a 540°C durante 17,5 horas con enfriamiento en agua, seguido de tratamiento térmico de precipitación (envejecimiento) a 200°C durante 7 horas, presentaron una resistencia mecánica media de 250 MPa, con una mejora de aproximadamente 11% en comparación con los componentes que no fueron tratados térmicamente.

50 Ejemplo 1b: Reparación de componentes bastos en aleación de aluminio-silicio 357 ya sometidos a tratamiento térmico completo de solubilización y precipitación (envejecimiento).

55 La resistencia mecánica de la aleación de aluminio-silicio 357 completamente tratada térmicamente, medida en piezas de prueba cilíndricas con un diámetro de 9,0 mm según ASTM B557, es de media 307 MPa.

60 Para simular un defecto a reparar, la sección de trabajo de algunas piezas de prueba se maquinó de nuevo, creando una ranura circunferencial con una profundidad tal que redujese la zona resistente a 33% de la zona original. La resistencia mecánica media medida en estas piezas de prueba era 122 MPa.

65 Las piezas de prueba con defecto simulado fueron reparadas depositando por pulverización en frío una capa de polvo de aleación de aluminio 357 con grosor suficiente para llenar completamente la ranura circunferencial.

Después de quitar la capa excedente de la sección de trabajo de las piezas de prueba, con el fin de restablecer el diámetro original de 9,0 mm, la resistencia mecánica medida en las piezas de prueba reparadas era de media 197 MPa. Después de la reparación por pulverización en frío, se realizó un tratamiento térmico de solubilización a 540°C durante 17,5 horas con enfriamiento en agua, seguido de tratamiento térmico de precipitación (envejecimiento) a 200°C durante 7 horas; estos tratamientos incrementaron las características mecánicas de las piezas de prueba reparadas a valores medios de 216 MPa, con una mejora también en este caso de aproximadamente 10% con respecto a los componentes que no se sometieron al tratamiento térmico.

Ejemplo 2a: Reparación de componentes no tratados bastos (en estado de colada) de aleación de aluminio-silicio 357.

La resistencia mecánica de la aleación de aluminio-silicio 357 no tratada térmicamente (en estado de colada), medida en piezas de prueba cilíndricas con un diámetro de 9,0 mm según ASTM B557, es de media 199 MPa.

Para simular un defecto a reparar, la sección de trabajo de algunas piezas de prueba se maquinó de nuevo, creando una ranura circunferencial con una profundidad tal que redujese la zona resistente a 49% de la zona original. La resistencia mecánica media medida en estas piezas de prueba era 116 MPa.

Las piezas de prueba con defecto simulado fueron reparadas depositando por pulverización en frío una capa de polvo de aleación de aluminio 357 con un grosor suficiente para llenar completamente la ranura circunferencial. Después de quitar la capa excedente de la sección de trabajo de las piezas de prueba, con el fin de restablecer el diámetro original de 9,0 mm, la resistencia mecánica medida en las piezas de prueba reparadas era de media 127 MPa. Piezas de prueba análogas reparadas por pulverización en frío y sometidas, después de la reparación, a un tratamiento de solubilización térmica a 540°C durante 17,5 horas con enfriamiento en agua, seguido de un tratamiento de precipitación térmica (envejecimiento) a 200°C durante 7 horas, presentaron una resistencia mecánica media de 271 MPa, con una mejora de aproximadamente 113% en comparación con los componentes que no se sometieron al tratamiento térmico.

Ejemplo 2b: Reparación de componentes no tratados bastos (en estado de colada) de aleación de aluminio-silicio 357.

La resistencia mecánica de la aleación de aluminio-silicio 357 no tratada térmicamente (en estado de colada), medida en piezas de prueba cilíndricas con un diámetro de 9,0 mm según ASTM B557, es de media 199 MPa.

Para simular un defecto a reparar, la sección de trabajo de algunas piezas de prueba se maquinó de nuevo, creando una ranura circunferencial con una profundidad tal que redujese la zona resistente a 33% de la zona original. La resistencia mecánica media medida en estas piezas de prueba era 75 MPa.

Las piezas de prueba con defecto simulado fueron reparadas depositando por pulverización en frío una capa de polvo de aleación de aluminio 357 con grosor suficiente para llenar completamente la ranura circunferencial. Después de quitar la capa excedente de la sección de trabajo de las piezas de prueba, con el fin de restablecer el diámetro original de 9,0 mm, la resistencia mecánica medida en las piezas de prueba reparadas era de media 78 MPa. Piezas de prueba análogas reparadas por pulverización en frío y sometidas, después de la reparación, a un tratamiento térmico de solubilización a 540°C durante 17,5 horas con enfriamiento en agua, seguido de tratamiento térmico de precipitación (envejecimiento) a 200°C durante 7 horas, presentaron una resistencia mecánica media de 191 MPa, con una mejora de aproximadamente 145% en comparación con los componentes que no se sometieron al tratamiento térmico.

Los ejemplos expuestos anteriormente resaltan los beneficios del tratamiento térmico completo en componentes bastos hechos de aleación de aluminio 357 reparados por deposición por pulverización en frío.

Como se ha mencionado previamente, el tratamiento térmico completo de solubilización y envejecimiento puede comportar deformaciones del componente, y por lo tanto se aplica por lo general a componentes bastos (por ejemplo, piezas fundidas o productos semiacabados) donde las tolerancias dimensionales permiten las deformaciones inducidas por el tratamiento térmico.

Por otra parte, si el componente a reparar tiene tolerancias dimensionales limitadas que no permiten deformaciones potenciales producidas por el tratamiento térmico, el componente parcialmente reparado se somete ventajosamente a un tratamiento térmico incluyendo una sola fase de liberación de esfuerzos.

Si el componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Si, tipo 355, 356 o 357, la fase de liberación de esfuerzos se realiza preferiblemente a una temperatura de 80 a 250°C, más preferiblemente de 100°C a 200°C, durante un tiempo en el rango de entre 3 y 10 horas.

Si el componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Cu, tipo 2014, 2618, 2024, la fase de liberación de esfuerzos se realiza preferiblemente a una temperatura de 80 a 200°C, más preferiblemente de 100°C a 180°C,

durante un tiempo en el rango de entre 3 y 20 horas.

A continuación se exponen algunos ejemplos de las ventajas que se puede obtener con la aplicación solamente de tratamiento térmico de liberación de esfuerzos en piezas de prueba hechas de aleación de aluminio-silicio 357 reparadas por pulverización en frío usando polvo de aleación de aluminio-silicio 357 como material suministrado:

Ejemplo 3a: Reparación de componentes acabados o semiacabados de aleación de aluminio-silicio 357 ya sometidos a tratamiento térmico completo de solubilización y precipitación (envejecimiento).

La resistencia mecánica de la aleación de aluminio-silicio 357 completamente tratada térmicamente, medida en piezas de prueba cilíndricas con un diámetro de 9,0 mm según ASTM B557, es de media 307 MPa.

Para simular un defecto a reparar, la sección de trabajo de algunas piezas de prueba se maquinó de nuevo, creando una ranura circunferencial de una profundidad tal que redujese la zona resistente a 49% de la zona original. La resistencia mecánica media medida en estas piezas de prueba era 179 MPa.

Las piezas de prueba con defecto simulado fueron reparadas depositando por pulverización en frío una capa de polvo de aleación de aluminio 357 de grosor suficiente para llenar completamente la ranura circunferencial. Después de quitar la capa excedente de la sección de trabajo de las piezas de prueba, con el fin de restablecer el diámetro original de 9,0 mm, la resistencia mecánica medida en las piezas de prueba reparadas era de media 226 MPa. Piezas de prueba análogas reparadas por pulverización en frío y sometidas, después de la reparación, a tratamiento térmico de liberación de esfuerzos a 125°C durante 7 horas presentaron una resistencia mecánica media de 245 MPa, con una mejora de aproximadamente 8% en comparación con los componentes que no se sometieron al tratamiento de liberación de esfuerzos.

Ejemplo 3b: Reparación de componentes semiacabados o acabados de aleación de aluminio-silicio 357 ya sometidos a tratamiento térmico completo de solubilización y precipitación (envejecimiento).

La resistencia mecánica de la aleación de aluminio-silicio 357 completamente tratada térmicamente, medida en piezas de prueba cilíndricas con un diámetro de 9,0 mm según ASTM B557, es de media 307 MPa.

Para simular un defecto a reparar, la sección de trabajo de algunas piezas de prueba se maquinó de nuevo, creando una ranura circunferencial con una profundidad tal que redujese la zona resistente a 33% de la zona original. La resistencia mecánica media medida en estas piezas de prueba era 122 MPa.

Las piezas de prueba con defecto simulado fueron reparadas depositando por pulverización en frío una capa de aleación de aluminio 357 con un grosor suficiente para llenar completamente la ranura circunferencial. Después de quitar la capa excedente de la sección de trabajo de las piezas de prueba, con el fin de restablecer el diámetro original de 9,0 mm, la resistencia mecánica medida en las piezas de prueba reparadas era de media 197 MPa. Después de la reparación por pulverización en frío, la realización del posterior tratamiento térmico de liberación de esfuerzos a 125°C durante 7 horas incrementó las características mecánicas de las piezas de prueba reparadas a valores medios de 263 MPa, con una mejora de 33% en comparación con los componentes que no se sometieron al tratamiento de liberación de esfuerzos.

El método de la invención tiene efectos especialmente positivos en los componentes reparados tanto en términos de la mejora de las propiedades mecánicas de la porción de material suministrado como en términos de la adhesión de la porción de material suministrado al sustrato.

En particular, con el método de la invención se reducen las tensiones internas en la porción de material suministrado y en la interfaz con el sustrato. Además, las fases de endurecimiento se precipitan, mejorando y estabilizando la estructura de la porción de material suministrado que así se hace lo más uniforme posible y similar a la del sustrato. Al mismo tiempo, el método promueve la interdifusión de elementos ligeros en la interfaz, mejorando en consecuencia la adhesión entre la porción de material suministrado y el sustrato.

En la condición en la que el componente a reparar tiene tolerancias dimensionales suficientemente amplias para permitir cualesquiera deformaciones introducidas por el tratamiento térmico completo, el método de la invención tiene el efecto especialmente deseable, desde el punto de vista mecánico y en términos del rendimiento, de hacer el comportamiento de la porción de material suministrado muy similar al del sustrato. De hecho, las tensiones debidas a las deformaciones dentro de la porción de material suministrado son anuladas completamente y el material precipita de nuevo sustancialmente en la fase de precipitación (envejecimiento), obteniendo así el beneficio máximo en términos de características mecánicas y adhesión entre las partes.

En cualquier caso, incluso cuando el componente a reparar tiene tolerancias dimensionales limitadas que no permiten deformaciones potenciales producidas por el tratamiento térmico, o porque ya ha sido tratado térmicamente antes de la reparación, el método de la invención produce un beneficio significativo. De hecho, el tratamiento térmico de liberación de esfuerzos se realiza a temperaturas y durante tiempos tales que favorezcan una

especie de envejecimiento del material, pero que no produzca fenómenos de precipitación excesiva, que daría lugar a un deterioro inaceptable de las características del material base del sustrato.

5 De hecho, con el tratamiento de la invención, se reducen las tensiones dentro de la porción de material suministrado y se provoca una precipitación de las fases de endurecimiento en la misma, minimizando así las diferencias con respecto al material base del sustrato (o el componente a reparar).

10 Se deberá indicar que, en base a los estudios previos realizados sobre deposición de aleaciones de aluminio por pulverización en frío, como los referidos en la patente US 2009/0148622, no parecería necesario llevar a la práctica tratamientos térmicos después de la deposición para obtener las propiedades mecánicas requeridas. No obstante, el método propuesto en la presente invención proporciona una mejora indudable de las propiedades mecánicas de los componentes.

15 La patente US 6.905.728 indica la realización, después de la reparación de componentes de turbina de presión alta por pulverización en frío, de un proceso de sinterización en vacío, seguido de un proceso de presión isostática en caliente y luego tratamiento térmico. Es evidente que dicho tratamiento térmico tiene el principal objetivo de restablecer las propiedades del material después de la sinterización y los procesos de presión isostática en caliente más bien que el de mejorar las características del material depositado por pulverización en frío.

20 Por último, la publicación "Characterization of low pressure type cold spray aluminium coatings" de K. Ogawa, K. Ito, K. Ichimura, Y. Ichikawa y T. Shoji, Sendai/J indica explícitamente el efecto beneficioso de un tratamiento de recocido a 270°C durante 9 horas en la ductilidad de la deposición de aluminio aplicada por pulverización en frío. Sin embargo, aunque este tratamiento térmico mejora la ductilidad del material, tiene el inconveniente de reducir drásticamente las propiedades mecánicas del sustrato y por lo tanto no puede ser usado convenientemente en la  
25 práctica en el sector de interés tomando en consideración la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para reparar un componente de aleación de aluminio endurecida por precipitación, incluyendo los pasos de:
- 5 a) depositar por pulverización en frío sobre dicho componente a reparar una porción de material suministrado que tiene una composición idéntica a la de dicho componente a reparar, obteniendo así un componente parcialmente reparado;
- 10 b) someter dicho componente parcialmente reparado a un tratamiento térmico, obteniendo así un componente reparado, seleccionándose las condiciones para realizar dicho tratamiento térmico en función de la composición y de las tolerancias dimensionales de dicho componente,
- caracterizado porque** dicho paso b) de tratamiento térmico incluye:
- 15 c) un primer paso de solubilización seguido de enfriamiento en agua; y
- d) un segundo paso de precipitación, después del primer paso c).
- 20 2. El método según la reivindicación 1, donde, si dicho componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Si de tipo 355, 356 o 357, dicho primer paso de solubilización c) se realiza a una temperatura de 500°C a 580°C durante un tiempo en el rango de entre 6 y 20 horas, y dicho segundo paso de precipitación d) se realiza a una temperatura de 100°C a 300°C durante un tiempo en el rango de entre 3 y 12 horas.
- 25 3. El método según la reivindicación 2, donde, si dicho componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Si de tipo 355, 356 o 357, dicho primer paso de solubilización c) se realiza a una temperatura de 530°C a 550°C durante un tiempo en el rango de entre 6 y 20 horas, y dicho segundo paso de precipitación d) se realiza a una temperatura de 150°C a 230°C durante un tiempo en el rango de entre 3 y 12 horas.
- 30 4. El método según la reivindicación 1, donde, si dicho componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Si de tipo 2014, 2618 o 2024, dicho primer paso de solubilización c) se realiza a una temperatura de 400°C a 600°C durante un tiempo en el rango de entre 1 y 3 horas; dicho segundo paso de precipitación se realiza a una temperatura de 150°C a 250°C durante un tiempo en el rango de entre 8 y 20 horas.
- 35 5. El método según la reivindicación 4, donde, si dicho componente a reparar se obtiene a partir de aleaciones de Al-Si de tipo 2014, 2618 o 2024, dicho primer paso de solubilización c) se realiza a una temperatura de 460°C a 535°C durante un tiempo en el rango de entre 1 y 3 horas; dicho segundo paso de precipitación se realiza a una temperatura de 160°C a 200°C durante un tiempo en el rango de entre 8 y 20 horas.