



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0919400-2 B1

(22) Data do Depósito: 21/09/2009

(45) Data de Concessão: 05/12/2017



(54) Título: PROCESSO DE UNIÃO DE PEÇAS DE TITÂNIO E DE PEÇAS DE AÇO POR SOLDAGEM POR DIFUSÃO E PEÇA METÁLICA COMPREENDENDO UMA PARTE DE TITÂNIO E UMA PARTE DE AÇO

(51) Int.Cl.: B23K 20/02; B23K 35/30; B23K 35/00; F01D 5/02; B23K 101/00

(30) Prioridade Unionista: 24/09/2008 FR 08/05249

(73) Titular(es): SNECMA

(72) Inventor(es): RAPHAEL COUTURIER; JEAN-PIERRE FERTE; XAVIER FIRMIN CAMILLE JEAN LESCURE; OLIVIER GILLIA; BRUNO RICCETTI

**“PROCESSO DE UNIÃO DE PEÇAS DE TITÂNIO E DE PEÇAS DE AÇO POR
SOLDAGEM POR DIFUSÃO E PEÇA METÁLICA COMPREENDENDO UMA
PARTE DE TITÂNIO E UMA PARTE DE AÇO”**

[0001] A invenção se refere a um processo de união por soldagem por difusão de peças de natureza diferente, uma em titânio e a outra em aço, bem como as peças metálicas obtidas por este processo, em particular das árvores de turbina para turbomáquina.

[0002] No quadro das investigações que visam reduzir o barulho, o consumo e as emissões de CO₂ dos motores de avião, leva a aumentar bastante o torque transmitido pela árvore de turbina de baixa pressão de uma turbomáquina, sem modificar o diâmetro e o peso desta árvore, o que levou que o requerente a estudar a realização de uma árvore com parte central em material compósito com matriz em titânio comportando em suas extremidades peças de aço de alta resistência que são usinadas com formas relativamente complexas para serem ligadas a outros componentes da turbomáquina.

[0003] A união da parte central em titânio e das peças de extremidade em aço traz problemas que ainda não foram resolvidos de maneira satisfatória até o momento, tanto que as junções titânio-aço devem apresentar características mecânicas muito elevadas no caso das árvores de turbina.

[0004] A invenção propõe para isso um processo de união de peças de titânio e peças de aço por soldagem por difusão, caracterizado pelo fato de que consiste:

- em interpor duas camadas metálicas finas entre uma peça de titânio e uma peça de aço, compreendendo uma folha ou camada fina de nióbio ou vanádio, lado titânio, e uma folha ou camada fina de cobre, lado aço,
- em colocar sob vácuo o conjunto das duas peças e as duas camadas metálicas interpostas,
- e em submeter este conjunto a uma compressão isostática a quente, a uma temperatura compreendida entre cerca de 900°C e 950°C e a uma pressão compreendida entre cerca de 100 MPa e 150 MPa (1000 bars e 1500 bars), esta compressão isostática a quente seguida de resfriamento controlado.

[0005] A compressão isostática a quente do conjunto formado pela peça de titânio, pelas camadas metálicas interpostas e pela peça de aço permite montar a peça de titânio e a peça de aço por soldagem por difusão, as camadas metálicas interpostas evitando que o titânio migre para o aço e que o ferro migre para o titânio, o que criaria fases intermetálicas que fragilizam a junção das duas peças.

[0006] De maneira geral, a compressão isostática a quente consiste em realizar um empilhamento de elementos e tornar estanque, em geral por soldagem, a periferia destes elementos, deixando um orifício no nível das interfaces para a desgaseificação. Após desgaseificação, realizada por bombeamento através do orifício, obtura-se o orifício de maneira estanque, em geral por soldagem. O empilhamento é, em seguida, submetido a uma pressão de gases elevada (em geral do argônio) a uma temperatura elevada durante um período dado. A compressão isostática a quente elimina as folgas entre os elementos e realiza uma soldagem no estado sólido dos elementos.

[0007] No caso presente, a duração da compressão isostática a quente é compreendida entre cerca de uma e três horas. Ela é de cerca de duas horas em um exemplo particular de emprego da invenção, descrito abaixo.

[0008] De acordo com outra característica da invenção, o processo consiste então em submeter o conjunto pré-citado a um tratamento térmico que compreende um primeiro patamar a cerca de 800 °C, seguido de um resfriamento, e um segundo patamar a cerca de 450 °C, seguido de resfriamento.

[0009] O conjunto pré-citado é mantido a uma pressão compreendida entre cerca de 100 MPa e 150 MPa (1000 bars e 1500 bars) durante este tratamento térmico.

[0010] Estas camadas metálicas interpostas têm uma espessura fina, compreendida entre cerca de 20 e 50 µm e podem ser formados por estampagem de folhas ou por deposição de metal sobre as extremidades das peças a unir.

[0011] De acordo com ainda outra característica da invenção, o processo consiste em usinar as extremidades das peças a unir para lhes dar formas conjugadas não planas, a extremidade da peça de aço compreendendo pelo menos

uma parte em projeção encaixada em uma parte côncava da peça de titânio.

[0012] Estas formas tiram vantagem da diferença de dilatação térmica entre o titânio e o aço durante a compressão isostática a quente, para garantir a manutenção do contato entre as duas peças durante o aquecimento e o resfriamento.

[0013] A forma das extremidades das peças pode ser, por exemplo, cônica ou bicônica.

[0014] A invenção propõe igualmente uma peça metálica que compreende uma parte em titânio e uma parte em aço, caracterizada pelo fato de que estas duas partes são montadas por execução do processo de soldagem por difusão descrito acima, as extremidades destas partes sendo reunidas pelas camadas interpostas finas de nióbio ou vanádio (lado titânio) e de cobre (lado aço).

[0015] De acordo com outra característica da invenção, a parte em titânio desta peça metálica é uma parte central da qual cada extremidade é unida em uma parte em aço pelo processo pré-citado de soldagem por difusão.

[0016] Esta peça metálica pode ser plena ou tubular.

[0017] A parte central desta peça pode ser realizada em um material compósito com matriz em titânio.

[0018] A peça metálica pode constituir uma árvore de turbina destinada a uma turbomáquina.

[0019] A invenção propõe ainda turbomáquina, tal como um turborreator ou um turbopropulsor, caracterizado pelo fato de que compreende uma árvore de turbina do tipo definido acima.

[0020] A invenção será melhor compreendida e outras características, detalhes e vantagens desta aparecerão mais claramente na leitura da descrição que segue, feita a título de exemplo em referência aos desenhos anexados nos quais:

- a figura 1 é uma vista esquemática em corte que ilustra a junção entre uma peça de titânio e uma peça de aço de acordo com a invenção,

- a figura 2 é um organograma das etapas essenciais do processo de acordo com a invenção,

- a figura 3 é um diagrama das curvas de pressão e de temperatura durante a compressão isostática a quente e o tratamento térmico no processo de acordo com a invenção,

- a figura 4 é uma vista esquemática em perspectiva de outra forma de ligação entre uma peça de titânio e uma peça de aço,

- a figura 5 é uma vista esquemática em corte da extremidade de uma peça de aço, em uma variante da invenção,

- a figura 6 é uma meia vista esquemática em corte axial de uma parte de extremidade de uma árvore de turbina de acordo com a invenção.

[0021] A figura 1 ilustra a união de uma peça 10 em titânio e uma peça 12 em aço, a junção entre estas duas peças sendo de forma cônica e a extremidade da peça 12 formando uma ponta de topo arredondada que é encaixada em uma cavidade de forma conjugada da extremidade da peça 10.

[0022] A interface entre as duas peças é formada por uma folha ou camada fina 14 de nióbio ou vanádio, aplicada sobre a extremidade da peça 10 em titânio, e uma folha ou camada fina 16 de cobre, aplicada sobre a extremidade da peça de aço 12.

[0023] Estas folhas interpostas 14, 16 têm uma espessura compreendida, por exemplo, entre cerca de 20 e 50µm e podem ser formadas por laminagem de discos planos.

[0024] Em variante, as camadas interpostas podem ser formadas diretamente sobre as extremidades das peças de titânio e aço, por deposição de metal por um processo conhecido, por exemplo, do tipo o PVD (Physical Vapor Deposition), CVD (Chemical Vapor Deposition) ou por deposição eletrolítica.

[0025] As etapas principais do processo de acordo com a invenção são representadas esquematicamente na figura 2.

[0026] As peças para união são primeiramente submetidas em 18 a uma limpeza e um desengorduramento cuidadosos e depois em 20 são colocadas em um estojo ou recipiente de aço inoxidável de um tipo conhecido que permite aplicar em seguida uma compressão isostática a quente nas peças que ele contém.

[0027] Um vácuo secundário é criado na etapa 22 neste recipiente durante cerca

de doze horas, e depois o recipiente é fechado de maneira estanque por soldagem.

[0028] Ele é, em seguida, colocado em 24 em um ambiente de compressão isostática a quente onde o conjunto de peça de titânio, camadas metálicas interpostas e peça de aço é submetido a uma temperatura e uma pressão elevadas durante uma duração compreendida entre cerca de uma e três horas, a temperatura sendo compreendida entre 900 e 950 °C e a pressão entre 100 e 150 MPa (1000 e 1500 bars).

[0029] O conjunto de peça de titânio, camadas metálicas interpostas e peça de aço é submetido, em seguida, a um tratamento térmico 26 destinado a melhorar as qualidades do aço, este tratamento térmico que compreende tipicamente um patamar à elevada temperatura, da ordem de 800 °C, por exemplo, seguido de um resfriamento controlado, e outro patamar à temperatura elevada, por exemplo, da ordem de 450 °C, seguido resfriamento controlado.

[0030] Em um exemplo particular de realização da invenção onde a peça 10 é uma liga de titânio Ti6242 e a peça 12 é de aço maraging M250, a duração da compressão isostática a quente é de duas horas, a pressão sendo de 140 MPa (1400 bars) e a temperatura de 925 °C.

[0031] O primeiro resfriamento é realizado a uma velocidade de 4 a 5 °C por minuto até a uma temperatura de cerca de 400 °C, depois o conjunto formado pelas peças montadas 10, 12 e pelas camadas metálicas interpostas é submetido a um tratamento térmico que compreende um patamar de duas horas a uma temperatura de 790 °C e um patamar de duas horas a uma temperatura de 455 °C com um resfriamento controlado após o primeiro patamar com uma velocidade de resfriamento de cerca de 4 a 5 °C por minuto até a temperatura ambiente. O resfriamento após o patamar a 455 °C pode ser realizado a ar.

[0032] Preferivelmente, o conjunto das duas peças montadas continua submetido a pressão de 140 MPa (1400 bars) durante toda a duração da compressão isostática a quente e do tratamento térmico do aço.

[0033] Estas características de compressão isostática a quente e tratamento térmico do aço são ilustradas na figura 3, onde a curva P representa a variação da

pressão aplicada às peças a montar e a curva T representa a variação da temperatura as quais estas peças estão sujeitas, o tempo em horas indicado na abscissa, a temperatura em graus C e a pressão em bars indicadas na ordenada.

[0034] A compressão isostática a quente permite, graças à pressão hidrostática de 100 a 150 MPa (1000 a 1500 bars), passar as etapas de resfriamento do tratamento térmico sem danificar os metais interpostos. A deterioração de um metal dúctil tal como o cobre é retardado sob uma forte pressão hidrostática pois esta pressão inibe a formação e o crescimento em torno dos defeitos. Evitam-se assim os problemas encontrados na técnica anterior onde o tratamento térmico do aço gera, por efeito de dilatação diferencial sob uma pressão uniaxial, um cisalhamento importante nas camadas metálicas interpostas e uma destruição do metal interposto mais dúctil.

[0035] Representou-se esquematicamente na figura 4 uma variante de realização da forma da junção entre a peça 10 em titânio e a peça 12 em aço. Nesta variante, a extremidade da peça 12 em aço comporta uma ponta troncônica com caneluras 28 que se estendem do topo do cone para a base deste ao longo das geratrizes do cone. As duas peças 10 e 12 são, além disso, formadas com um furo central 30.

[0036] Outra forma de realização da junção entre as duas peças é representada esquematicamente figura 5, para a peça 12 em aço.

[0037] A extremidade desta peça destinada a ser montada com a extremidade da peça de titânio, é de forma bicônica e compreende uma superfície troncônica 32 que se estende da periferia cilíndrica da peça 12 para o eixo desta peça e que se encontra em projeção sobre a peça 12, esta superfície troncônica sendo conectada por um arredondado convexo 34 a uma superfície cônica 36 que se estende em sentido oposto da primeira e que é formada côncava sobre a extremidade da peça 12, esta superfície 36 se estendendo do arredondado 34 até o eixo central da peça 12.

[0038] O ângulo de topo da superfície troncônica 32 é, por exemplo, de 120°, enquanto este da superfície cônica 36 é cerca de 160°.

[0039] A forma da extremidade da peça 10 em titânio é conjugada daquela representada na figura 5.

[0040] Representou-se esquematicamente na figura 6 uma parte de uma árvore de turbina de baixa pressão de acordo com a invenção, que compreende uma parte central 40 em um material compósito com matriz em titânio, esta parte central sendo tubular de eixo 42 e sendo de maior espessura em sua extremidade 44 de ligação com a extremidade correspondente 46 de uma ponteira tubular 48 em aço de alta resistência que forma uma peça de ligação com um outro componente de uma turbomáquina tal como um turborreator ou um turbopropulsor de avião.

[0041] A realização desta ponteira 48 em aço permite lhe dar por usinagem qualquer forma adequada, que pode ser relativamente complexa.

[0042] A outra extremidade da parte central 40 da árvore, não representada, está ligada igualmente a uma ponteira do mesmo tipo que aquela da figura 6.

[0043] A ligação das extremidades 44 da parte central 40 com as ponteiras 48 faz-se por execução do processo de soldagem por difusão descrito acima, com nióbio (ou de vanádio) e cobre interpostos entre as partes de titânio e de aço.

[0044] A junção 50 entre cada extremidade da parte central 40 com uma ponteira 48 tem uma forma cônica de topo arredondado em arco de círculo orientado para a parte central 40.

[0045] Em um exemplo de realização, o arco de círculo no topo da junção tem um raio superior a 20 mm e o ângulo de topo é cerca de 60°.

[0046] Em um exemplo particular de realização da invenção, a parte central 40 da árvore de turbina de baixa pressão tem um diâmetro externo de 81 mm e é em material compósito com matriz de Ti6242 e com fibras longas SIC e as terminações 48 são de um aço maraging M250. As junções das extremidades da parte central 40 com as terminações 48 são capazes de transmitir um torque que corresponde a uma perda de pá, ou seja, cerca de 70000 Nm. Além disso, estas junções podem suportar, sem aparecimento de rachaduras, 25000 decolagens ao longo das quais o torque transmitido é da ordem de 41500 Nm (a decolagem sendo na fase de vôo em que o torque transmitido é máximo em condições de utilização normais).

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de união de peças de titânio e de peças de aço por soldagem por difusão, caracterizado pelo fato de que consiste em:

- interpor duas camadas metálicas finas (14, 16) entre uma peça de titânio (10) e uma peça de aço (12), as duas camadas metálicas compreendendo uma folha ou camada fina de nióbio ou vanádio (lado do titânio) e uma folha ou camada fina de cobre (lado do aço);

- colocar sob vácuo o conjunto das duas peças e das duas camadas metálicas interpostas,

- submeter este conjunto a compressão isostática a quente, a uma temperatura compreendida entre 900°C e 950°C, e a uma pressão compreendida entre 100 e 150 MPa, a compressão isostática a quente sendo seguida de resfriamento controlado, e

- subsequentemente, submeter o dito conjunto a tratamento térmico durante o qual o conjunto é mantido a uma pressão compreendida entre 100 e 150 MPa.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a duração da compressão isostática a quente está compreendida entre cerca de uma hora e três horas.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o tratamento térmico compreende um primeiro patamar de cerca de 800°C, seguido de um resfriamento, um segundo patamar de cerca de 450°C, e resfriamento.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que as camadas metálicas interpostas têm uma espessura de cerca de 20 a 50µm.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que consiste ainda em usinar as extremidades das peças a unir dando-lhes formas conjugadas não planas, uma extremidade da peça de aço (12) compreendendo pelo menos uma parte em projeção encaixada em uma parte

côncava da peça de titânio (10).

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que consiste ainda em dar uma forma cônica ou bicônica (32, 36) às extremidades das peças (10, 12).

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que as camadas metálicas interpostas são formadas por deposição de metal sobre as extremidades das peças (10, 12) unidas.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que consiste ainda em estampar as camadas metálicas interpostas (14, 16) para lhes dar uma forma correspondente àquelas das extremidades das peças (10, 12).

9. Peça metálica compreendendo uma parte de titânio (10, 40) e uma parte de aço (12, 48), caracterizada pelo fato de que estas duas partes são unidas através da execução do processo por soldagem por difusão com dito subsequente tratamento térmico conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8, as extremidades das ditas partes sendo reunidas por camadas interpostas finas de nióbio ou de vanádio (lado do titânio) e de cobre (lado do aço).

10. Peça metálica de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de que a parte de titânio é uma parte central (40) da qual cada extremidade (44) é unida a uma parte de aço (48) pelo processo por soldagem por difusão conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8.

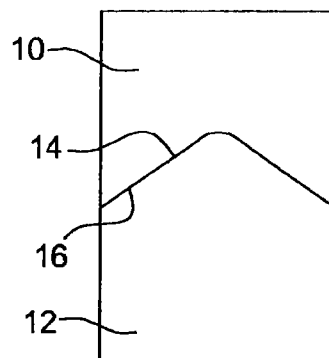
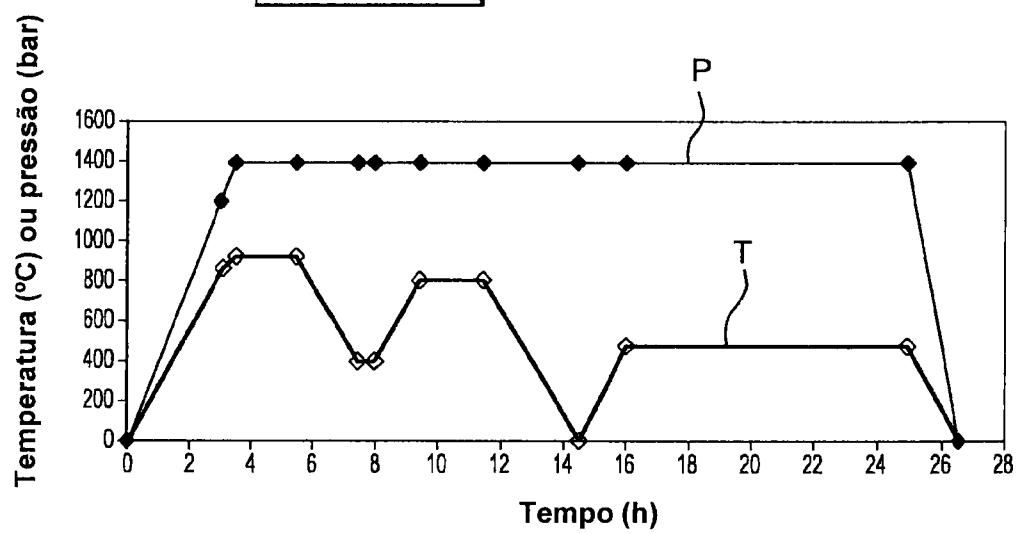
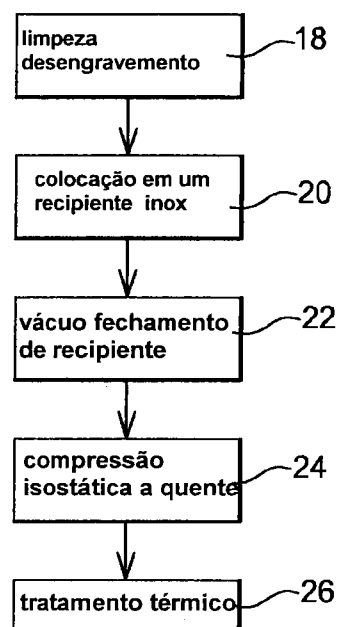
11. Peça metálica de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que é tubular.

12. Peça metálica de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que a parte central (40) é de material compósito de matriz de titânio.

13. Peça metálica de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de que constitui uma árvore de turbina destinada a ser utilizada em uma turbomáquina.

14. Turbomáquina, tal como um turborreator ou um turbopropulsor, caracterizada pelo fato de que compreende uma árvore de turbina constituída por

uma peça metálica conforme definida na reivindicação 13.

Fig. 1**Fig. 2****Fig. 3**

