



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

(11) PI 0405191-2 B1

(22) Data do Depósito: 12/11/2004

(45) Data de Concessão: 01/08/2017



(54) Título: MÉTODO DE REPARO DE UM COMPONENTE RECOBERTO ORIGINAL DE UM MOTOR DE TURBINA A GÁS

(51) Int.Cl.: C23C 12/00

(30) Prioridade Unionista: 13/11/2003 US 10/714,213

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) Inventor(es): JOSEPH D. RIGNEY; CHING-PANG LEE; RAMGOPAL DAROLIA

“MÉTODO DE REPARO DE UM COMPONENTE RECOBERTO ORIGINAL DE UM MOTOR DE TURBINA A GÁS”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A invenção se refere em geral a um método para o reparo de componentes recobertos expostos a altas temperaturas durante, por exemplo, a operação de um motor de turbina a gás. Mais em particular, a invenção se refere a um método para a remoção e recondicionar o sistema de cobertura de barreira térmica o qual inclui uma cobertura adesiva metálica interna e uma camada cerâmica de isolamento térmico externa.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] São continuamente buscadas as mais altas temperaturas operacionais para os motores de turbina a gás, de forma a aumentar a sua eficiência. Contudo, conforme aumentam as temperaturas operacionais, a durabilidade a altas temperaturas dos componentes dentro do motor deve aumentar de forma correspondente.

[003] Avanços significativos na resistência a altas temperaturas têm sido obtidos através da formulação de superligas (*superalloy*) a base de níquel e a base de cobalto. Por exemplo, alguns componentes de motores de turbina a gás podem ser feitos a partir de superligas a base de níquel de cristalização simples ou de alta resistência com solidificação direcionada. Estes componentes são fundidos com características externas específicas para realizarem um trabalho útil com o fluxo do centro do motor e contém detalhes internos de refrigeração e orifícios de passagem para prover um filme externo de refrigeração para reduzir as temperaturas do aerofólio. Apesar disto, quando expostos às condições solicitantes da operação de um motor de turbina a gás, em particular na secção da turbina, ditas ligas isoladamente podem estar susceptíveis a danos por ataques de oxidação e de corrosão e podem não manter as propriedades mecânicas adequadas. Assim, estes

componentes são geralmente protegidos por uma cobertura ambiental ou uma cobertura adesiva e uma cobertura de isolamento térmico de topo, em geral referidas no conjunto como um sistema de cobertura de barreira térmica (Thermal Barrier Coating - TBC).

[004] As coberturas de difusão, tais como os aluminetos, e os aluminetos de platina aplicados através de processos de depósito por vapor químico, e sobre coberturas tais como as ligas MCrAlY, nas quais M é ferro, cobalto e/ou níquel, têm sido empregadas como coberturas ambientais para os componentes de motores de turbina a gás.

[005] Os materiais cerâmicos, tais como a zircônia (ZrO_2) parcial ou totalmente estabilizada por ítria (Y_2O_3), magnésia (MgO) ou outros óxidos são amplamente empregados como as coberturas de topo dos sistemas de TBC. A camada cerâmica é tipicamente depositada através da técnica de pulverização de plasma em ar (APS) ou de uma técnica de depósito de vapor físico (PVD). A TBC empregada nas regiões de mais altas temperaturas dos motores de turbina a gás é tipicamente depositada através das técnicas de depósito de vapor físico por corrente elétrica (EB-PVD).

[006] Para ser efetiva, a cobertura de topo da TBC deve apresentar baixa condutibilidade térmica, aderir fortemente ao artigo e permanecer aderida por vários ciclos de aquecimento e de refrigeração. A última exigência é particularmente solicitada devida a diferença nos coeficientes de expansão térmica entre os materiais da cobertura de barreira térmica e as superligas tipicamente empregadas para formar os componentes dos motores de turbina. Os materiais da cobertura de topo da TBC aptos a satisfazer as exigências supra têm em geral necessitado de uma cobertura adesiva, tal como uma ou ambas dentre as supra citadas coberturas de alumineto de difusão e MCrAlY. O conteúdo de alumínio de uma cobertura adesiva formada a partir destes materiais causa um pequeno crescimento de

uma camada de alumina contínua aderente e forte (película de alumina) a temperaturas elevadas. Este óxido de crescimento térmico protege a cobertura adesiva da oxidação e da corrosão a quente, e liga quimicamente a camada cerâmica à cobertura adesiva.

[007] Apesar dos avanços significativos que têm sido obtidos com os materiais de cobertura e com os processos de produção tanto das coberturas adesivas resistentes ao ambiente quanto das camadas cerâmicas de isolamento térmico, existe uma necessidade inevitável de remover e substituir a cobertura ambiental e a camada cerâmica de topo sob certas circunstâncias. Por exemplo, a remoção pode ser necessária devido a danos por erosão ou por impacto à camada cerâmica, durante a operação do motor, ou devida necessidade de reparo de certas características, tais como, a altura da ponteira de uma palheta de turbina. Durante a operação do motor, os componentes podem experimentar uma perda em uma dimensão crítica devido a uma perda na ponteira por arraste, escamação da TBC e degradação por oxidação/corrosão. A operação a altas temperaturas pode também levar ao crescimento das coberturas ambientais.

[008] Os presentes métodos de reparo do estado da arte geralmente resultam na remoção de todo o sistema da TBC, isto é, tanto da camada cerâmica quanto da cobertura adesiva. Um de tais métodos é o do uso de abrasivos em procedimentos tais como jateamento de particulados, desbaste a vapor e *peening* em leito de vidro, cada qual em um processo de trabalho intensivo e lento o qual erode a camada de cerâmica e a cobertura adesiva, assim como a superfície do substrato abaixo da cobertura. A camada cerâmica e a cobertura adesiva metálica podem também ser removidas em um processo de descascamento no qual, por exemplo, a parte é embebida em uma solução contendo KOH para remover a camada cerâmica e também embebida em soluções ácidas, tais como soluções fosfóricas/nítricas, para

remover a cobertura adesiva metálica. Apesar de o descascamento ser efetivo, este processo também pode remover uma parte do substrato de base assim deixando mais fina a parede externa da parte.

[009] Quando os componentes, tais como as palhetas da turbina de alta pressão, são removidas para um reparo completo, as coberturas cerâmicas e de difusão podem ser removidas das suas localizações externas por meio dos processos de descascamento. A ponteira pode então se restaurada, se necessário, por solda de reconstrução seguida por outros processos de conformação. As coberturas de difusão e a camada cerâmica são então reaplicadas às palhetas na mesma espessura como se aplicadas a um componente novo.

[010] Contudo, o aerofólio bem como a estabilidade e as dimensões da cobertura ambiental são particularmente importantes para a eficiência da operação do motor e para a capacidade de múltiplos reparos dos componentes. Quando o desenho está limitado a dimensões mínimas do aerofólio em particular, os reparos múltiplos de tais componentes podem não ser possíveis.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[011] Os depositantes determinaram que, se os processos convencionais são expostos a operações no reparo supradescrito, as dimensões da secção do aerofólio recoberto antes do reparo ou original não são restauradas e assim as distâncias do passo de palheta a palheta (a distância entre secções de aerofólios adjacentes no motor) aumenta. Os depositantes ainda mais determinaram que tais alterações na dimensão do aerofólio podem afetar substancialmente a eficiência da turbina.

[012] Desta forma, persiste a necessidade por um método de reparo de um componente de um motor de turbina a gás, o qual compense a perda de metal de base como resultado dos processos de remoção da

cobertura. Ainda existe a necessidade de um método de reparo de um componente de um motor de turbina a gás apresentando uma secção de aerofólio, sendo que o método compensa a perda de metal de base como resultado dos processos de remoção da cobertura e restaura o contorno da secção do aerofólio para as suas dimensões do contorno do aerofólio recoberto original ou antes do reparo. A presente invenção supre estas necessidades.

[013] Em uma forma de realização da invenção, é descrito um método de reparo de um componente recoberto, o qual tenha sido exposto à operação do motor, para restaurar as dimensões recobertas do componente e aumentar a subsequente eficiência operacional do motor. O método compreende fornecer um componente exposto à operação de um motor incluindo um substrato de base metálica. O substrato de base metálica apresenta sobre este um sistema de cobertura de barreira térmica compreendendo uma cobertura adesiva sobre o substrato de base metálica e uma cobertura de barreira térmica cerâmica de topo. A cobertura de barreira térmica cerâmica de topo apresenta uma espessura nominal t . O método ainda compreende remover o sistema de cobertura de barreira térmica, sendo que uma parte do substrato de base metálica é também removida, e determinar a espessura da base metálica removida. A parte do substrato de base metálica removida apresenta uma espessura Δt . Uma cobertura adesiva é reaplicada ao substrato com uma espessura, a qual é aproximadamente a mesma que a espessura aplicada antes da operação do motor. O método também compreende reaplicar uma cobertura de barreira térmica cerâmica de topo até a espessura nominal de $t + \Delta t$, sendo que Δt compensa a parte removida do substrato de base metálica. Vantajosamente, as dimensões do componente recoberto são restauradas para aproximadamente as dimensões recobertas que antecederam o funcionamento do motor para aumentar a subsequente

eficiência operacional de motor.

[014] Em outra forma de realização da invenção, é descrito um método para o reparo de uma palheta recoberta de uma turbina de alta pressão, a qual tenha sido exposta à operação do motor, para restaurar as dimensões do contorno recoberto do aerofólio da palheta. Este método compreende prover uma palheta exposta à operação de uma turbina de alta pressão de um motor incluindo um substrato de base metálica feito de uma liga a base de níquel e apresentando sobre este um sistema de cobertura de barreira térmica. O sistema de cobertura de barreira térmica compreende uma cobertura adesiva de difusão sobre o substrato de base metálica e uma cobertura de barreira térmica cerâmica de topo compreendendo um material de zircônia estabilizado com ítria. A cobertura de barreira térmica cerâmica de topo apresenta uma espessura nominal t . O método ainda compreende remover o sistema de cobertura de barreira térmica, sendo que uma parte do substrato de base metálica é também removida, e determinar a espessura da base metálica removida. A parte do substrato de base metálica removida apresenta uma espessura Δt . O método também compreende reaplicar a cobertura adesiva de difusão ao substrato com uma espessura a qual é aproximadamente a mesma a qual é aproximadamente a mesma que a espessura aplicada antes da operação do motor; e reaplicar uma cobertura de barreira térmica cerâmica de topo até a espessura nominal de $t + \Delta t$, sendo que Δt compensa a parte removida do substrato de base metálica. Vantajosamente, as dimensões do contorno do aerofólio recoberto da palheta são restauradas para aproximadamente as dimensões recobertas que antecederam o funcionamento do motor.

[015] Os depositantes determinaram como prover maiores reduções na temperatura da camada adesiva e no substrato para aerofólios, o que aumenta o tempo de escamação da cerâmica, o que diminui os

subsequentes crescimentos da cobertura a ser experimentado no próximo ciclo de reparo, e o qual também fornece outras vantagens para as propriedades mecânicas da liga. Por exemplo, isto pode ser obtido através da adição da espessura Δt na TBC aqui descrita.

[016] Os depositantes também determinaram como compensar a perda da base metálica como resultado dos processos de remoção da cobertura, e também restaurar o contorno da secção do aerofólio para as suas dimensões do contorno de aerofólio recobertas originais ou antes do reparo, sem qualquer penalidade em relação ao peso. Assim, uma vantagem importante das formas de realização da invenção é a que a resultante restauração da área de passo do aerofólio irá permitir que a turbina funcione com muito mais eficiência. Por exemplo, durante um reparo convencional de um componente exposto à operação de um motor, podem ser removidas cerca de 3 mils (0,0762 mm) da espessura da base metálica jacente no processo. Assim, uma perda de cerca de 3 mils (0,0762 mm) na base metálica pode ser experimentada tanto no lado de pressão quanto no lado de sucção de um aerofólio, o que se traduz em um incremento de cerca de 6 mils (0,1524 mm) na dimensão do passo (distância entre duas secções adjacentes de aerofólios em um motor). Apesar de que este aumento no vão entre os componentes pode não afetar adversamente a operação mecânica do motor, os depositantes constataram que a eficiência do motor pode ser adversamente afetada de forma substancial. As formas de realização da invenção dos depositantes apresentam uma solução inovadora e muito necessária ao problema supra, a qual não apresenta custo de implementação e não necessita de qualquer equipamento adicional custoso.

[017] Outras características e vantagens se tornarão aparentes a partir da seguinte descrição mais detalhada, tida em conjunto com os desenhos que acompanham, os quais ilustram, a título de exemplo, os

princípios da invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[018] A figura 1 é uma vista em perspectiva de uma palheta de uma turbina de alta pressão.

[019] A figura 2 é uma vista em secção transversal local da palheta da figura 1, ao longo da linha 2-2 e que mostra um sistema de cobertura de barreira térmica sobre a palheta.

[020] A figura 3 é um diagrama de fluxo mostrando uma forma de realização do processo da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[021] O método de reparo da presente invenção é em geral aplicável a componentes que operam dentro de ambientes que são caracterizados por temperaturas relativamente altas e estão, portanto, sujeitos a tensões térmicas severas e a ciclos térmicos severos. Exemplos notáveis de tais componentes incluem as palhetas e bocais de turbinas de alta e baixa pressão, os envoltórios, a camisa do combustor e os dispositivos amplificadores de motores de turbina a gás. Outros exemplos incluem os aerofólios em geral, e as partes estáticas como as pás. Um exemplo em particular é a palheta 10 de uma turbina de alta pressão mostrada na figura 1. Por conveniência, o método da presente invenção será descrito no contexto do reparo da palheta 10. Contudo, qualquer perito na arte irá reconhecer que o método abaixo descrito pode ser facilmente adaptado para o reparo de qualquer outra parte de um motor de turbina a gás, recoberta por um sistema de barreira térmica.

[022] A palheta 10 da figura 1 em geral inclui um aerofólio 12 contra o qual são dirigidos os gases quentes da combustão, durante a operação do motor de turbina a gás, e cuja superfície está, portanto, sujeita a um ataque severo pela oxidação e pela erosão. O aerofólio 12 é ancorado ao

disco da turbina (não mostrado) através de um engate de tipo rabo de andorinha 14 formado em uma plataforma 16 da palheta 10. Os orifícios de refrigeração 18 estão presentes no aerofólio 12 através dos quais é forçado o ar soprado, para transferir calor da palheta 10.

[023] A base metálica da palheta 10 pode ser de qualquer material apropriado, incluindo uma superliga a base de Ni ou Co, ou a base de combinações de Ni e Co. De preferência, a base metálica é uma superliga a base de níquel de cristalização simples ou solidificada de forma direcional ou orientada. Por exemplo, a base metálica pode ser feita do material Renè N5, apresentando uma densidade de cerca de $8,64 \text{ g/cm}^3$. A espessura do fundido da secção do aerofólio 12 da palheta 10 pode variar com base nas especificações e solicitações do projeto.

[024] O aerofólio 12 e a plataforma 16 podem ser recobertos por um sistema de cobertura de barreira térmica 18, mostrado na figura 2. O sistema de cobertura de barreira térmica pode compreender uma cobertura adesiva 20 disposta sobre o substrato da palheta 10 e uma cobertura de barreira térmica cerâmica 22 de topo ou acima da cobertura adesiva 20.

[025] Em uma forma de realização da invenção, a cobertura adesiva 20 é uma cobertura de difusão e a base metálica da palheta 10 é uma superliga a base de níquel de cristalização simples ou de solidificação orientada. Contudo, o material de base também pode incluir uma combinação de Ni e de Co, como descrito acima. Tanto o Ni na superliga a base de níquel, quanto o Co na superliga a base de cobalto se difundem para fora, a partir do substrato, para formar aluminetos de difusão, e as superligas podem incluir tanto Ni quanto Co em percentuais variados. Apesar da descrição do substrato em superliga poder ser feito em termos de superligas a base de níquel, deve ser entendido que podem ser empregadas superligas a base de cobalto. De forma similar, a cobertura adesiva 20 pode compreender uma cobertura de

MCrAlY isolada ou em combinação com uma cobertura de difusão, assim como outras coberturas apropriadas conhecidas.

[026] De acordo com uma forma de realização da invenção, a cobertura de difusão pode compreender aluminetos simples ou modificados, contendo metais nobres, tais como Pt, Rh ou Pd e/ou elementos reativos incluindo, mas não limitado a, Y, Zr, e Hf. A cobertura de difusão pode ser formada sobre o componente através de uma variedade de diferentes formas. De modo breve, o substrato pode se exposto ao alumínio, tal como por processos em lote ou pacotes, ou através de processos de depósito por vapor químico (CVD) em temperaturas elevadas, e a cobertura de alumineto resultante sendo formada como resultado da difusão.

[027] Mais em particular, uma cobertura de difusão de alumineto de níquel (NiAl) pode ser formada como uma cobertura externa em uma superliga a base de níquel através da exposição do substrato a um ambiente rico em alumínio e a altas temperaturas. O alumínio da camada externa difunde no substrato e se combina com a difusão para fora do níquel a partir do substrato para formar uma cobertura externa de NiAl. Uma vez que a formação da cobertura é o resultado de um processo de difusão, deverá ser reconhecido que existem gradientes químicos do Al e do Ni, assim como de outros elementos. Contudo, o Al terá uma alta concentração relativa na superfície externa do artigo o que irá guiar, de forma termodinâmica, sua difusão para dentro do substrato criando uma zona de difusão estendida dentro do substrato original, e esta concentração de Al irá decair gradualmente com o aumento da distância para dentro do substrato. Por outro lado, o Ni irá apresentar a concentração mais alta dentro do substrato e irá difundir para dentro da fina camada de alumínio para formar o alumineto de níquel. A concentração do Ni na zona de difusão irá variar conforme este se difunda para fora para formar o NiAl. A um nível abaixo da superfície original, a composição inicial de Ni do

substrato é mantida, mas a concentração de Ni na zona de difusão será menor e irá variar como uma função da distância para dentro da zona de difusão. O resultado é que, apesar do NiAl se formar na superfície externa do artigo, um gradiente da variação da composição do Ni e do Al se forma entre a composição da superfície externa e do substrato original. Os gradientes de concentração de Ni e de outros elementos que se difundem para fora a partir do substrato e o alumínio depositado, Al, criam uma zona de difusão entre a superfície externa do artigo e a porção do substrato que apresenta sua composição original. Obviamente, a exposição do substrato recoberto a uma atmosfera oxidante tipicamente irá resultar na formação de uma camada de alumina sobre a cobertura de alumineto de difusão.

[028] Uma cobertura de difusão de alumineto de platina (PtAl) também pode ser formada através da eletrodeposição de uma fina camada de platina sobre o substrato a base de níquel em uma espessura predeterminada. Então, a exposição da platina a um ambiente rico em alumínio em temperaturas elevadas causa o aparecimento ou a formação de uma camada externa de PtAl conforme o alumínio se difunde para dentro e reage com a platina. Ao mesmo tempo, o Ni se difunde para fora a partir do substrato alterando a composição do substrato, enquanto que o alumínio se move para dentro e através da platina para dentro da zona de difusão do substrato. Assim, são formadas estruturas complexas de (Pt, Ni)Al através da exposição do substrato, no qual foi depositada uma fina camada de Pt por eletrodeposição, a uma atmosfera rica em alumínio e a altas temperaturas. Conforme o alumínio se difunde para dentro na direção do substrato, e o níquel se difunde na direção oposta para dentro da Pt, criando a zona de difusão, podem se precipitar fases PtAl_2 para fora da solução, de tal forma que a resultante matriz intermetálica de Pt-NiAl também pode conter os precipitados intermetálicos de PtAl_2 . A precipitação do PtAl_2 ocorre se são atingidos níveis

de Al acima de certo nível; abaixo deste nível, a cobertura é considerada como sendo de fase simples (Pt, Ni)Al. Da mesma forma que com a cobertura de difusão de alumineto de níquel, ocorre um gradiente de alumínio a partir da superfície externa rica em alumínio para dentro na direção do substrato, e ocorre um gradiente de Ni e de outros elementos conforme estes elementos se difundem para fora a partir do substrato na direção da camada aditiva rica em alumínio. Aqui, e conforme o exemplo anterior, é formada uma camada externa rica em alumínio na superfície externa, a qual pode incluir tanto os aluminetos de platina quanto os aluminetos de níquel, enquanto que é criada uma camada de difusão abaixo da camada externa. Da mesma forma que com a cobertura de alumineto de níquel, a exposição do substrato recoberto a uma atmosfera oxidante resulta tipicamente na formação de uma camada externa de alumina. Coberturas de alumineto apropriadas também incluem a comercialmente disponível cobertura de alumineto Codep, uma forma da qual está descrita na patente americana US 3.667.985, empregada de forma isolada ou em combinação com uma primeira camada de platina depositada por eletrodeposição, entre outras coberturas apropriadas.

[029] A espessura total da cobertura de difusão pode variar, mas tipicamente não pode ser maior que cerca de 0,0045 pol. (4,5 mils – 0,1016 mm) e mais tipicamente pode ser de 0,0002 pol. a 0,0003 pol. (2-3 mils – 0,0508 mm a 0,0762 mm) de espessura. A camada de difusão, a qual se forma no substrato, tipicamente pode ser de cerca de 0,0005 - 0,0015 pol. (0,5 - 1,5 mils – 0,0127 mm a 0,0381 mm), mais tipicamente cerca de 0,001 pol. (1 mil – 0,0254 mm) de espessura, enquanto que a camada aditiva externa compreende o balanço, usualmente cerca de 0,001 - 0,002 polegadas (1-2 mils – 0,0254 mm a 0,0508 mm). Por exemplo, um componente novo pode ter uma cobertura aditiva de difusão de cerca de 0,0024 pol. (cerca de 2,4 mils – 0,0609 mm) de espessura, incluindo a camada aditiva de cerca de 0,0012 pol.

(1,2 mils – 0,0305 mm) e a zona de difusão de cerca de 0,0012 polegadas (cerca de 1,2 mils – 0,0305 mm).

[030] O peso da palheta 10 com a cobertura adesiva 20 pode ser representado por w_0 . A cobertura de barreira térmica cerâmica 22 ou outro material cerâmico apropriado pode então ser aplicado sobre a cobertura adesiva 20. A cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode estar total ou parcialmente estabilizada com zircônia estabilizada por ítria e similares, assim como outros materiais óxidos de cobertura de baixa condutividade, conhecidos da arte. Exemplos de outras cerâmicas apropriadas incluem cerca de 92-93 por cento em peso de zircônia estabilizada com cerca de 7-8 por cento em peso de ítria, entre outras coberturas de barreira térmica cerâmicas conhecidas. A cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode ser aplicada por qualquer meio apropriado. Um método preferido para o depósito é através de depósito de vapor físico por corrente elétrica (EB-PVD), apesar de que os processos de depósito por pulverização a plasma também podem ser empregados para aplicações no combustor. A densidade de uma cobertura de barreira térmica cerâmica aplicada por EB-PVD apropriada pode ser de $4,7 \text{ g/cm}^3$, e outros exemplos particulares de coberturas de barreira térmica cerâmica apropriadas estão descritos nas patentes americanas US 4.055.705, US 4.095.003, US 4.328.285, US 5.216.808 e US 5.236.745 para citar apenas algumas. A cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode ter uma espessura (t) entre cerca de 0,003 pol. (3 mils – 0,0762 mm) e cerca de 0,010 pol. (10 mils – 0,254 mm), mais tipicamente na ordem de cerca de 0,005 pol. (5 mils – 0,127 mm) antes da operação do motor. A espessura de projeto e aquela manufaturada podem variar de lugar para lugar na parte para fornecer o nível ótimo da refrigeração e do balanço da tensão térmica. O peso da palheta 10, incluindo a cobertura adesiva 20 e a cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode ser representado por w_1 .

[031] O componente recoberto descrito acima, que apresenta as dimensões aerodinâmicas especificadas pelo projeto, quando entra em serviço é assim exposto a altas temperaturas por grandes períodos de tempo. Durante esta exposição, a cobertura adesiva 10 pode crescer através da interdifusão com a liga do substrato. A extensão da interdifusão pode depender do par de difusão (p. ex. níveis de Al na cobertura, espessura da cobertura, composição da liga do substrato (a base de Ni ou de Co)), e da temperatura e do tempo de exposição.

[032] De acordo com um aspecto do processo de reparo da presente invenção, a palheta 10 recoberta supra, a qual foi removida de um motor em uso, pode ser inicialmente inspecionada para se determinar a intensidade do desgaste na parte, em particular com relação a qualquer escamação sofrida pela cobertura de barreira térmica cerâmica 22. A inspeção pode ser realizada por qualquer meio conhecido na arte, incluindo a inspeção visual e a inspeção fluorescente penetrante, entre outras. Se necessário, a ponteira pode ser convencionalmente reparada para restaurar as dimensões da parte.

[033] A seguir, e se necessário, a cobertura de barreira térmica cerâmica 22 externa pode ser removida da palheta 10, através de meios conhecidos na arte, incluindo descascamento químico e/ou processos mecânicos. Por exemplo, a cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode ser removida por métodos conhecidos que empregam processos de autoclave cáustica e/ou de jateamento de particulados. A cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode também ser removida através dos processos descritos na patente americana US 6.544.346, entre outros. Todas as patentes e pedidos aqui referidos são incorporados como referência.

[034] Após a remoção da cobertura de barreira térmica cerâmica 22, podem ser empregados processos de limpeza, como descritos acima, para

remover os resíduos. A palheta 10 pode então ser pesada usando um dispositivo convencional tal como uma escala ou uma balança, e seu peso indicado como w_2 . A palheta 10 também pode ser inspecionada neste estágio, por exemplo, através das técnicas de FPI ou de outras técnicas não destrutivas para novamente determinar a integridade da palheta 10.

[035] A cobertura adesiva 20 jacente pode então ser removida da palheta 10 usando os métodos conhecidos da arte. Contudo, antes da remoção a cobertura adesiva 20, e se desejado, técnicas convencionais de mascaramento podem ser empregadas para mascarar detalhes internos da palheta 10 e proteger qualquer cobertura interna da remoção. Por exemplo, uma cera de alta temperatura, apta a evitar os compostos químicos e as temperaturas empregadas na etapa de remoção da cobertura adesiva, pode ser injetada na parte interna da palheta 10.

[036] Após qualquer mascaramento desejado, os processos mecânicos, tais como o uso de materiais abrasivos, ou de processos químicos, tais como soluções aquosas ácidas, tipicamente uma mistura de ácidos nítrico e fosfórico, podem ser empregados para remover ou escamar a cobertura adesiva 20 jacente. No caso de coberturas metálicas baseadas em alumínio, pode ser empregado um ataque químico, no qual o artigo é submerso em agente de ataque químico aquoso, dissolvendo a cobertura como resultado da reação com o agente de ataque. Desta forma, durante os processos de remoção, cerca de 1-3 mils (0,0254 a 0,0762 mm) da base metálica jacente interdifundida do substrato podem ser removidos, assim resultando em uma diminuição na espessura da parede do aerofólio. A camada aditiva da cobertura adesiva 20, tipicamente em cerca de 1-2 mils (0,0254 a 0,0508 mm), também pode ser removida.

[037] Após a completa remoção da cobertura de barreira térmica cerâmica 22 e da jacente cobertura adesiva 20, qualquer mascaramento

empregado também pode ser removido. Pode ser empregado um processo de exposição a altas temperaturas sob vácuo ou de ar de fornalha, entre outros processos. A parte pode ser convencionalmente limpada para remover os resíduos. Por exemplo, pode ser empregado um fluxo de água entre outras técnicas de limpeza. A palheta 10, ora tendo seu previamente aplicado sistema de cobertura de barreira térmica 18 removido, podem então ser pesada novamente. Este novo peso é indicado por w_3 . Desta forma, w_3 será menor que w_2 . A diferença $w_2 - w_3$ assim representa o peso da cobertura adesiva 20 removida mais o peso do substrato jacente removido durante a escamação da cobertura adesiva 20.

[038] A solda / EDM e outros processos podem também ser realizados, se necessário, para reparar quaisquer defeitos no substrato jacente, tal como reparar e reconfigurar as dimensões da ponteira.

[039] A cobertura adesiva 20 pode então ser reaplicada à palheta 10 usando aproximadamente as mesmas técnicas e espessuras como previamente aplicado antes de entrar em serviço no motor. Em uma forma de realização, a cobertura 20 é uma cobertura de difusão, a qual tem aproximadamente a mesma composição e espessura que a cobertura de difusão previamente removida. Após a nova aplicação da cobertura adesiva 20, a palheta 10 pode ser novamente pesada para determinar a margem de peso remanescente. O peso da peça com a nova cobertura adesiva aplicada é indicado por w_4 . De forma alternativa, a cobertura adesiva reaplicada pode compreender qualquer cobertura adesiva apropriada, aplicada com cerca da mesma espessura que a cobertura adesiva 20 anterior, e pode não necessariamente compreender a mesma composição que a da cobertura adesiva 20 anterior.

[040] A margem remanescente de peso/espessura pode então ser exposta à operação para determinar a espessura na qual aplicar a

cobertura de barreira térmica cerâmica 22 de forma a restaurar as dimensões do aerofólio sem sofrer nenhuma penalidade no peso. Em uma forma de realização, a medida da espessura da base metálica original pode ser empregada. Esta espessura pode ser fisicamente medida usando as técnicas conhecidas pela arte, antes da aplicação de quaisquer coberturas. Por exemplo, podem ser empregados meios não destrutivos tais como ultrassom, análise por raios-X e dispositivos de varredura CAT, entre outros. A espessura original da base metálica também pode ser conhecida a partir das especificações do projeto do componente. De modo similar, pode ser medida a espessura da base metálica, após a remoção da cobertura adesiva. A perda de espessura da base metálica, Δt , como resultado da remoção da cobertura adesiva, pode ser determinada através da comparação da espessura original da base metálica do componente com a espessura medida da base metálica após a remoção da cobertura adesiva. A diferença na medida da espessura representa Δt .

[041] De forma similar, após a retirada da cobertura adesiva, as dimensões externas da peça podem ser medidas empregando máquinas de medição por coordenadas (CMM) ou por calibragem por luz. As três informações dimensionais da peça exposta do motor podem ser comparadas com as medidas originais do projeto. A diferença média nas dimensões pode ser exposta à operação como Δt .

[042] Alternativamente, pode ser determinada a quantidade da base metálica removida usando uma combinação das medidas de peso w_0 , w_1 , w_2 , w_3 e w_4 . Por exemplo, $w_0 - w_4$ pode ser exposto à operação para determinar o peso da base metálica removida, assumindo que é reaplicada aproximadamente a mesma cobertura adesiva 20 com aproximadamente a mesma espessura. A densidade do material da base metálica irá variar dependendo da liga em particular empregada. Contudo, a densidade da

superliga será tipicamente maior que aquela da camada cerâmica. Desta forma, a alteração de massa pode ser correlacionada com a área da cobertura adesiva escamada ou retirada e com a densidade da base metálica. A perda na espessura da base metálica, Δt , está relacionada com a densidade da liga da base metálica e com a área escamada, as quais são valores conhecidos. A espessura Δt pode ser determinada por: $\Delta t = (\text{peso removido}) / (\text{área} \times \text{densidade})$.

[043] De modo similar, se deve ser aplicada uma cobertura diferente, o peso da base metálica removida pode ser prontamente determinado, por exemplo, por $w_2 - w_3$ menos o peso assumido para a camada aditiva da cobertura original (p. ex. a densidade da camada aditiva pode ser de cerca de $6,1 \text{ g/cm}^3$ e cerca de $7,5 \text{ g/cm}^3$ para as coberturas de difusão de PtAl e de NiAl, respectivamente; p. ex. o peso da camada aditiva ($w_{\text{add}} = 1,2 \text{ mils}$ ($0,0305 \text{ mm}$) $\times$ área $\times$ densidade específica da camada aditiva). O valor de $w_2 - w_3 - w_{\text{add}}$ pode ser exposto à operação no cálculo supra do Δt . Pode ser necessário que esta espessura seja incrementada ou diminuída dependendo da diferença relativa na camada aditiva entre a cobertura original e o material da cobertura adesiva alternativa.

[044] Uma vez determinada, a perda de espessura da base metálica, Δt , pode ser adicionada à espessura t da cobertura de barreira térmica cerâmica original. Desta forma, a cobertura de barreira térmica cerâmica 22 pode então ser aplicada na nova espessura maior determinada de $t + \Delta t$, na qual Δt também representa a espessura adicional da cerâmica adicionada para compensar pela perda da base metálica do substrato, como resultado dos procedimentos de remoção/escamação da cobertura adesiva. Por exemplo, o valor de Δt pode estar entre cerca de 1 mil ($0,001 \text{ pol.} - 0,0254 \text{ mm}$) e cerca de 3 mils ($0,003 \text{ pol.} - 0,0762 \text{ mm}$), e mais tipicamente de pelo menos cerca de 2 mils ($0,002 \text{ pol.} - 0,0508 \text{ mm}$).

[045] A cobertura 22 ou outra cobertura de barreira térmica cerâmica apropriada pode ser aplicada na nova espessura usando métodos convencionais, e um perito na arte compreenderia como ajustar o processo de cobertura/tempo para se obter a nova espessura. Por exemplo, um ganho em peso na peça alvo poderia ser estabelecido com base na nova espessura, $\Delta t + t$, usando curvas de regressão. O produtor da TBC pode conseguir o novo ganho em peso através da adição de tempo na operação de cobertura na forma prescrita. Para se estabelecer as curvas de regressão, por exemplo, várias peças poderiam ser recobertas com a cobertura de barreira térmica cerâmica e tomadas as medidas de peso em várias espessuras da cobertura para se determinar que para um ganho em peso resultante em particular, uma particular espessura da cobertura de barreira térmica cerâmica deveria ser aplicada. Assim, se um ganho em peso resultante em particular (ganho em peso alvo) é desejado, a cobertura de barreira térmica cerâmica deve ser aplicada com uma espessura predeterminada, da qual resulta no ganho em peso objetivado. O tempo de cobertura pode assim ser ajustado para que se obtenha o ganho em peso desejado.

[046] A palheta recoberta pode ser pesada, e este peso é representado por w_5 . O w_5 será menor que o w_1 devido à cerâmica adicionada, a qual apresenta uma densidade mais baixa que aquela da base metálica removida. Vantajosamente, este componente de cobertura nova apresenta as dimensões restauradas, as quais coincidem com as designações aerodinâmicas originais da peça e que estão dentro das tolerâncias permitidas originais, como mostrado de forma esquemática no exemplo de processo apresentado na figura 3, e não sofre qualquer penalidade em relação ao peso.

[047] Os depositantes determinaram vantajosamente como incrementar a eficiência do motor em contraste com os ensinamentos das técnicas de reparo anteriores. Em particular, os depositantes determinaram

como aumentar a eficiência do motor, por exemplo, correlacionando as medidas de peso supra com aquelas da cobertura de barreira térmica cerâmica externa 22 para determinar uma nova espessura efetiva para aplicação do material cerâmico externo. Este processo é surpreendente e está em contraste com as técnicas anteriores.

[048] O processo descrito acima também é aplicável para o reparo e recondicionamento de componentes mais de uma vez. Neste caso, deve ser tomado cuidado nas medidas e deve-se assegurar que a espessura da base metálica remanescente cumpra as solicitações de espessura mínima do projeto.

[049] Apesar de que várias formas de realização são aqui descritas, deve ser visto a partir da descrição que várias combinações de elementos, variações ou incrementos nesta podem ser feitos por aqueles peritos na arte, e que se encontram dentro do escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO DE REPARO DE UM COMPONENTE RECOBERTO ORIGINAL DE UM MOTOR DE TURBINA A GÁS, que inclui um substrato de base metálica tendo um sistema de cobertura de barreira térmica original e tendo um peso w_1 antes da operação de um motor, o sistema de cobertura de barreira térmica incluindo uma cobertura adesiva original (20) no substrato de base metálica e uma cobertura original de barreira térmica cerâmica de topo (22), a cobertura original de barreira térmica cerâmica de topo (22) possuindo uma espessura nominal (t), o componente original tendo sido exposto à operação de um motor, o método sendo destinado a restaurar as dimensões recobertas do componente original em um componente recoberto reparado e aumentar a subsequente eficiência operacional do motor através da diminuição do peso do componente recoberto reparado, o método caracterizado por compreender as etapas de:

remover o sistema de cobertura de barreira térmica original, sendo que uma parte do substrato de base metálica é também removida, e determinar a espessura do substrato de base metálica removido, a porção do substrato de base metálica removida apresentando uma espessura Δt ;

aplicar uma cobertura adesiva (20) ao substrato em uma espessura a qual é a mesma espessura aplicada antes da operação do motor;

aplicar uma cobertura de barreira térmica (22) cerâmica de topo até a espessura nominal de $t + \Delta t$, sendo que Δt compensa a parte removida do substrato de base metálica para formar o componente recoberto reparado, e as dimensões do componente recoberto reparado são restauradas para as dimensões do componente original que antecedeu a operação do motor, o componente recoberto reparado tendo um peso w_5 , em que w_5 é menor que w_1 , para aumentar a subsequente eficiência operacional do motor.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que o componente recoberto original é uma palheta (10) de uma turbina de alta pressão, e as dimensões do contorno do aerofólio (12) recoberto do componente recoberto são restauradas.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de pesar o componente depois de aplicar a cobertura adesiva e calcular o Δt a ser aplicado quando da aplicação da cobertura de barreira térmica de topo.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que t é entre 3 mils e 10 mils (0,0762 mm e 0,254 mm), e de que Δt é de pelo menos 1 mil (0,0254 mm).

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a cobertura adesiva (20) compreende uma cobertura de alumineto de difusão.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato de base metálica é uma superliga a base de níquel de cristalização simples.

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a cobertura adesiva (20) compreende uma cobertura de MCrAlY.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o componente é um aerofólio (12).

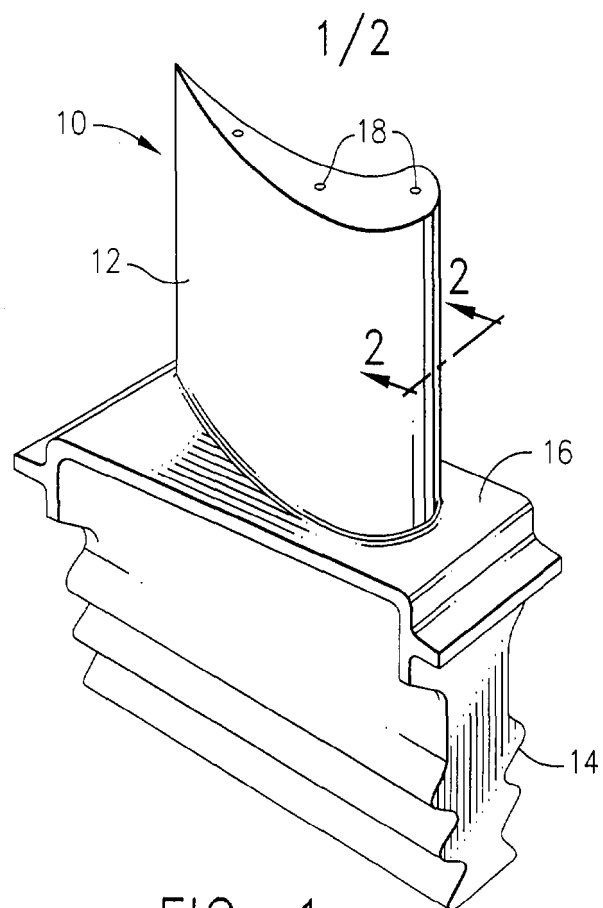


FIG. 1

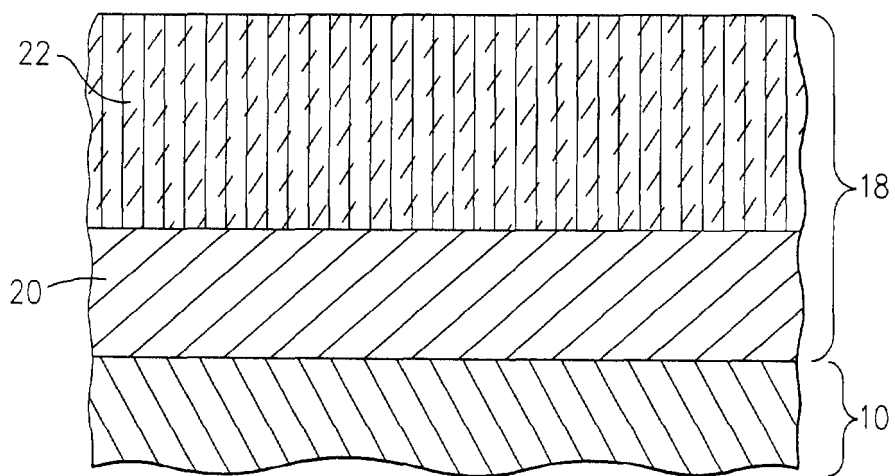


FIG. 2

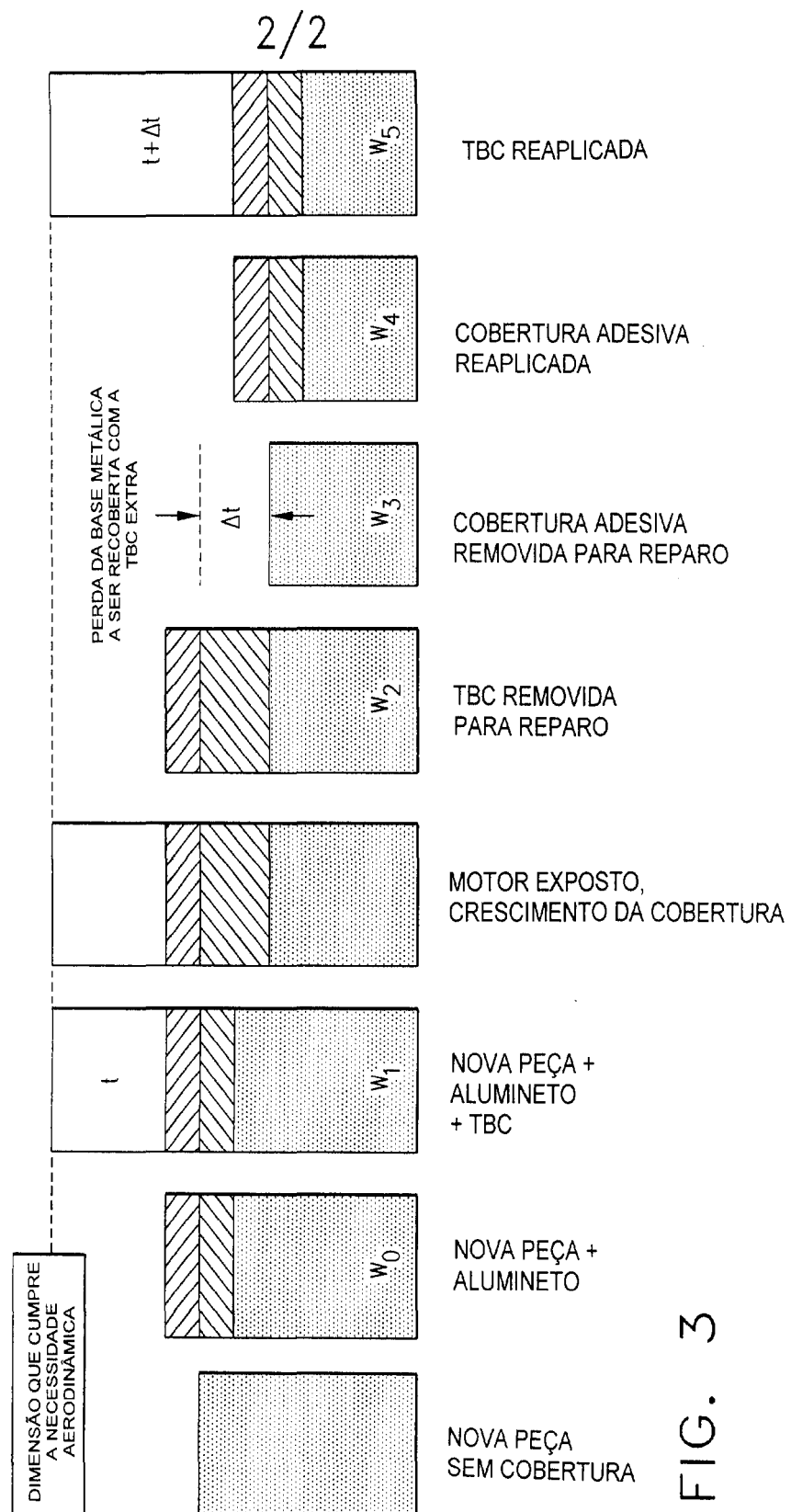


FIG. 3