



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0600519-5 B1

(22) Data do Depósito: 08/02/2006

(45) Data de Concessão: 20/08/2019



* B R P I 0 6 0 0 5 1 9 B 1 *

(54) Título: PALHETA DE TURBINA A GÁS E MÉTODO PARA O REPARO DE UMA PALHETA DE TURBINA A GÁS

(51) Int.Cl.: F01D 5/28; B23K 9/23.

(30) Prioridade Unionista: 09/02/2005 US 11/054,269.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): LAWRENCE JOSEPH ROEDL; RABON HENSLEY.

(57) Resumo: "PALHETA DE TURBINA A GÁS APRESENTANDO UM AEROFÓLIO MONO CRISTALINO COM UM REPARO DO TOPO INDICADOR, E MÉTODO DE REPARO". Uma palheta de turbina a gás (20) reparada apresenta um aerofólio (22) mono cristalino feito de uma primeira liga 'superalloy' a base de níquel, e um topo indicador (46) de reparo que é soldado ao topo de um aerofólio (22). O topo indicador (46) de reparo é feito de uma segunda liga 'superalloy' a base de níquel diferente da primeira liga 'superalloy' a base de níquel, e apresentando menos que cerca de 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio.

“PALHETA DE TURBINA A GÁS E MÉTODO PARA O REPARO DE UMA PALHETA DE TURBINA A GÁS”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] Esta invenção se refere ao reparo do topo de um aerofólio de uma palheta de uma turbina a gás, e mais em particular, à seleção de uma liga “*superalloy*” a base de níquel para o reparo do topo indicador.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Em um motor de turbina a gás (jato) para aeronave, o ar é aspirado pela frente do motor, comprimido por um compressor montado em um eixo, e misturado com o combustível. A mistura é queimada, e os gases quentes da combustão passam através da turbina montada no mesmo eixo. O fluxo dos gases da combustão gira a turbina através de seu impacto contra uma secção em forma de aerofólio das palhetas e pás da turbina, o que gira o eixo e fornece energia ao compressor e ao aspirador da entrada (*fan*). Em uma versão mais complexa do motor de turbina a gás, o compressor e uma turbina de alta pressão são montados em um eixo, e o aspirador de entrada e a turbina de baixa pressão são montados em um outro eixo. Os gases quentes da exaustão fluem a partir da parte traseira da turbina, movendo-a e ao avião para frente.

[003] Após um período de tempo em uso, o topo da palheta da turbina (chamado de topo indicador ou “*squealer tip*”) é tipicamente erodido, oxidado e corroído pelo impacto dos gases quentes da exaustão. Uma vez que a palheta da turbina a gás é cara de ser produzida, sempre que possível é preferível reparar a palheta da turbina a gás danificada ao invés de descartá-la. O reparo do topo da palheta da turbina a gás é realizado através da remoção por esmerilhamento do material danificado e pela substituição deste por um novo material, de modo a definir um topo indicador de reparo. A substituição é realizada, de preferência, por soldagem do material de reparo do topo indicador no topo do aerofólio, e então através da moldagem do material do topo indicador

de reparo no formato aerodinâmico desejado, tipicamente por esmerilhamento.

[004] O material de reparo do topo indicador de preferência é uma liga “*superalloy*” a base de níquel. Na maioria dos casos, o material de reparo do topo indicador não pode ser o mesmo que o da liga “*superalloy*” a base de níquel empregado no aerofólio, uma vez que a maioria dos materiais do aerofólio não é facilmente soldável. Ao invés disto, são escolhidas outras ligas “*superalloy*” a base de níquel mais facilmente soldáveis. Contudo, e em certos casos, tais como quando estão sendo reparados aerofólios mono cristalinos, os materiais de reparo do topo indicador selecionados ainda são difíceis de serem aplicados por solda, de tal forma que o rendimento em reparos satisfatórios não é tão alto quanto o desejado.

[005] Portanto, permanece a necessidade por um procedimento de reparo para um topo de palheta mono cristalino de uma turbina a gás em uma liga “*superalloy*” a base de níquel, o qual conduza a uma performance mecânica aceitável para o topo indicador de reparo e que também seja econômico. A presente invenção satisfaz esta necessidade, e ainda fornece outras vantagens relacionadas.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[006] A presente invenção fornece uma palheta de turbina a gás com um topo indicador reparado, e um método para a realização do reparo. A liga “*superalloy*” a base de níquel usada no reparo fornece propriedades aceitáveis para a palheta de turbina a gás. A composição da liga “*superalloy*” a base de níquel usada no reparo é selecionada de modo a permitir que o reparo de solda seja realizado de forma econômica com um alto rendimento em termos de palhetas de turbina satisfatoriamente reparadas.

[007] Uma palheta de turbina a gás reparada compreende um aerofólio mono cristalino feito de uma primeira liga “*superalloy*” a base de níquel e um topo indicador reparado soldado no topo do aerofólio. O topo indicador de

reparo é feito de uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel diferente da primeira liga “*superalloy*” a base de níquel e apresenta menos que cerca de 0,15 por cento em peso em relação ao total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio. Mais preferencialmente, o total de carbono, boro silício, zircônio e háfnio na segunda liga “*superalloy*” a base de níquel é menor que cerca de 0,10 por cento em peso, e ainda mais preferencialmente é menor que cerca de 0,05 por cento em peso.

[008] Em uma forma preferida, a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta uma composição nominal em percentual em peso com cerca de 12,0 por cento de cobalto, cerca de 6,8 por cento de cromo, cerca de 1,5 por cento de molibdênio, cerca de 4,9 por cento de tungstênio, cerca de 2,8 por cento de rênio, cerca de 6,35 por cento de tântalo, cerca de 6,15 por cento de alumínio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas. Em outra forma preferida, a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta uma composição nominal em percentual em peso de cerca de 14,0 por cento de cromo, cerca de 9,5 por cento de cobalto, cerca de 4,0 por cento de molibdênio, cerca de 4,0 por cento de tungstênio, cerca de 3,0 por cento de alumínio, cerca de 5,0 por cento de titânio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas. Em ainda outra forma preferida, a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta uma composição nominal em percentual em peso de cerca de 7,4 a cerca de 7,8 por cento de cromo, de cerca de 5,3 a cerca de 5,6 por cento de tântalo, de cerca de 2,9 a cerca de 3,3 por cento de cobalto, de cerca de 7,6 a cerca de 8,0 por cento de alumínio, de cerca de 3,7 a cerca de 4,0 por cento de tungstênio, de cerca de 1,5 a cerca de 1, por cento de rênio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas. Em cada caso, o total de carbono, boro, silício zircônio e háfnio é menor que cerca de 0,15 por cento em peso, mais preferencialmente menor que cerca de 0,10 por cento em peso e

ainda mais preferencialmente menor que cerca de 0,05 por cento em peso.

[009] A primeira liga "*superalloy*" a base de níquel de preferência apresenta uma composição nominal em percentual em peso de cerca de 7,5 por cento de cobalto, cerca de 7,0 por cento de cromo, cerca de 1,5 por cento de molibdênio, cerca de 5 por cento de tungstênio, cerca de 3 por cento de rênio, cerca de 6,5 por cento de tântalo, cerca de 6,2 por cento de alumínio, cerca de 0,15 por cento de háfnio, cerca de 0,05 por cento de carbono, cerca de 0,004 por cento de boro, cerca de 0,01 por cento de ítrio, o balanço de níquel e de elementos menores, ou uma composição nominal em percentual em peso de cerca de 12,5 por cento de cobalto, cerca de 4,2 por cento de cromo, cerca de 5,75 por cento de tungstênio, cerca de 5,4 por cento de rênio, cerca de 7,2 por cento de tântalo, cerca de 5,75 por cento de alumínio, cerca de 0,15 por cento de háfnio, cerca de 0,05 por cento de carbono, cerca de 0,004 por cento de boro, cerca de 0,01 por cento de ítrio, o balanço de níquel e de impurezas incidentais.

[010] Um método para o reparo de uma palheta de turbina a gás compreende as etapas de fornecer uma palheta de turbina que tenha estado em uso, sendo que a palheta de turbina apresenta um aerofólio mono cristalino com um topo de aerofólio e que é feito de uma primeira liga "*superalloy*" a base de níquel, e remover o material danificado do topo do aerofólio. Um topo indicador de reparo, feito de uma segunda liga "*superalloy*" a base de níquel, é soldado ao topo do aerofólio. A segunda liga "*superalloy*" a base de níquel é diferente da primeira liga "*superalloy*" a base de níquel e apresenta menos que cerca de 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício zircônio e háfnio. Outras características compatíveis aqui descritas podem ser usadas em conjunto com este método.

[011] A presente invenção também fornece uma solução em matéria de projeto para a segunda liga "*superalloy*" a base de níquel. Um método para o reparo de uma palheta de turbina a gás compreende as etapas de

fornecer uma palheta de turbina que tenha estado em uso, sendo que a palheta de turbina apresenta um aerofólio mono cristalino com um topo de aerofólio e sendo que o aerofólio é feito de uma primeira liga “*superalloy*” a base de níquel. Qualquer material danificado é removido do topo do aerofólio. O método ainda inclui identificar uma liga “*superalloy*” a base de níquel candidata diferente da primeira liga “*superalloy*” a base de níquel, sendo que a liga “*superalloy*” a base de níquel candidata apresenta mais que cerca de 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio, e preparar uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresentando uma composição da liga “*superalloy*” a base de níquel candidata, exceto que a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta menos que cerca de 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio. Um topo indicador de reparo, apresentando a composição da segunda liga “*superalloy*” a base de níquel, é aplicado ao topo do aerofólio por soldagem. Outras características compatíveis aqui descritas podem ser usadas em conjunto com este método. Este método fornece uma modificação das composições de liga por outro lado vantajosas, para que estas sejam úteis como a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel.

[012] A redução do e o resultante baixo conteúdo de elementos reforçadores da ligação granular como carbono, boro, silício, zircônio e háfnio na segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta poucos efeitos adversos em relação às propriedades do topo indicador de reparo. O topo indicador não apresenta uma rigidez limitada devida a sua localização no final da palheta de turbina a gás. Por consequência, a omissão dos elementos reforçadores da ligação granular da segunda liga “*superalloy*” a base de níquel não limita a performance do topo indicador. O uso da composição da liga “*superalloy*” a base de níquel para a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel é desejado, contudo, por sua resistência à oxidação e por outras performances ambientais. Os elementos reforçadores da ligação granular tendem a aumentar a dificuldade na

realização da aplicação por soldagem da liga. Os níveis reduzidos destes elementos na segunda liga “*superalloy*” a base de níquel aumenta a capacidade de soldagem, assim aumentando o rendimento de produção dos topos indicadores de reparo soldados.

[013] Outras características e vantagens da presente invenção ficarão aparentes a partir da seguinte descrição mais detalhada da forma de realização preferida, feita em conjunto com os desenhos que a acompanham, os quais ilustram, a título de exemplo, os princípios da invenção. O escopo da invenção não é, contudo, limitado por esta forma de realização.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

- a figura 1 é uma vista em perspectiva de uma palheta de turbina a gás;
- a figura 2 é um detalhe em secção da palheta de turbina a gás da figura 1, tida de acordo com a linha 2-2, após o uso mas antes do reparo;
- a figura 3 é um detalhe em secção da palheta de turbina a gás da figura 1, tida de acordo com a linha 2-2, após o uso e após o reparo; e
- a figura 4 é um diagrama de fluxo em blocos de uma solução para a prática de uma forma de realização da invenção.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[014] A figura 1 ilustra uma palheta de turbina a gás 20 a qual preferencialmente tenha sido previamente utilizada. O uso prévio é a operação do motor de turbina a gás em circunstâncias de operação normal. A palheta de turbina a gás 20 apresenta um aerofólio 22, contra o qual o fluxo dos gases quentes da combustão se choca durante a operação em uso, um eixo 24 que se estende à jusante, e um engate na forma de um encaixe em forma de rabo de andorinha 26, o qual engata a palheta de turbina a gás 20 no disco de turbina (não mostrado) do motor de turbina a gás. Uma plataforma 28 se estende para fora, na direção transversal, a partir de um local entre o aerofólio 22 e entre o

eixo 24 e o engate em forma de rabo de andorinha 26. O aerofólio 22 pode ser oco de tal forma a que o ar de refrigeração possa ser forçado através do aerofólio 22, com o fluxo de ar de refrigeração deixando o aerofólio 22 através dos orifícios de fluxo de ar 30 encontrados no topo 32, no bordo de ataque 34, no bordo de fuga 36 e nas laterais 38 do aerofólio 22.

[015] Nos motores de turbina a gás mais avançados, o aerofólio 22 (e de forma desejável o restante da palheta de turbina a gás 22) é mono cristalino. Isto é, substancialmente não existem ligações granulares na parte mono cristalina, e a orientação cristalográfica é a mesma no todo. A expressão “mono cristalina” significa que, virtualmente, todo o artigo, e preferencialmente ao menos 90 por cento de seu volume, é na forma de um cristal simples com a mesma orientação cristalina pelo todo, apesar de que podem existir pequenas regiões incidentais apresentando outras orientações cristalinas presentes. Mesmo um artigo substancialmente mono cristalino tipicamente apresenta uma certa quantidade de ligações granulares de baixo ângulo presentes, e estas são permitidas dentro do escopo da expressão “mono cristalina”. O artigo não pode ser um poli cristal, tanto um poli cristal aleatório quanto um poli cristal orientado, tal como o produzido através de solidificação com direcionamento.

[016] O aerofólio 22 (e de forma desejável o restante da palheta de turbina a gás 22) é feito de uma primeira liga “*superalloy*” a base de níquel. Como ora empregado, “a base de níquel” significa que a composição apresenta mais níquel do que qualquer outro elemento. As ligas “*superalloy*” a base de níquel são de uma composição que é reforçada pela precipitação da fase primaria gama ou de uma fase relacionada, tipicamente em uma quantidade de mais de 10 por cento em volume. Exemplos de ligas “*superalloy*” a base de níquel operacionais incluem *Renè®* N5, apresentando uma composição nominal em percentual em peso de 7,5 por cento de cobalto, 7,0 por cento de crômio, 1,5 por cento de molibdênio, 5 por cento de tungstênio, 3 por cento de rênio, 6,5 por

cento de tântalo, 6,2 por cento de alumínio, 0,15 por cento de háfnio, 0,05 por cento de carbono, 0,004 por cento de boro, 0,01 por cento de ítrio e o balanço em níquel e impurezas incidentais, e *René®* N6 apresentando uma composição nominal em percentual em peso de 12,5 por cento de cobalto, 4,2 por cento de crômio, 1,4 por cento de molibdênio, 5,75 por cento de tungstênio, 5,4 por cento de rênio, 7,2 por cento de tântalo, 5,75 por cento de alumínio, 0,15 por cento de háfnio, 0,05 por cento de carbono, 0,004 por cento de boro, 0,01 por cento de ítrio, o balanço em níquel e impurezas incidentais.

[017] A figura 2 ilustra a região próxima ao topo 32 do aerofólio 22 (a qual também é o topo da palheta de turbina 20) em detalhe ampliado. O aerofólio 22 inclui suas laterais 38 e uma cobertura de topo 40, os quais juntos definem o volume oco 42 através do qual passa o ar de refrigeração para sair pelo orifício de fluxo de ar 30.

[018] O topo indicador 44 define o topo 32 do aerofólio 32. O topo indicador 44 se estende radialmente para fora com relação ao disco da turbina a gás quando a palheta de turbina a gás 20 é montada no disco de turbina a gás. Conforme a palheta de turbina a gás 20 gira com o disco da turbina a gás, o topo indicador 44 toca e raspa contra a estrutura de vedação no envoltório estacionário (não mostrado) para prover a uma vedação contra o escape dos gases quentes da combustão ao redor das palhetas de turbina a gás 20. A vedação força a que os gases quentes da combustão fluam através da turbina a gás, conforme definida pelos aerofólios 22 das palhetas de turbina a gás, transferindo energia para a turbina a gás e fazendo com que esta gire.

[019] O topo indicador da palheta de turbina a gás 20 nova apresenta inicialmente um comprimento indicado pelo marcador dimensional D, mas é gradualmente desgastado, oxidado, corroído e queimado até um comprimento tal como o mostrado para o topo indicador 44 da figura 2. Esta redução dimensional do topo indicador 44 permite que os gases quentes da

combustão contornem por fora da turbina a gás, e assim é reduzida a eficiência da turbina a gás. É portanto uma prática convencional que durante a reforma da turbina a gás que os topos indicadores 20 da turbina a gás sejam reparados e aumentados de volta substancialmente ao mesmo comprimento conforme indicado pela dimensão D. A perda de eficiência da turbina a gás devida aos danos ao topo indicador é portanto eliminada.

[020] Para realizar o reparo, existe um topo indicador de reparo 46 soldado ao topo 32 do aerofólio 22 para restaurar o comprimento do topo indicador ao valor desejado D, como mostrado na figura 3. O topo indicador de reparo 46 é feito de uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresentando menos que 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio. Mais preferencialmente, o topo indicador de reparo 46 apresenta menos que 0,10 por cento em peso do total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio, e ainda mais preferencialmente menos que cerca de 0,05 por cento em peso. A segunda liga “*superalloy*” a base de níquel de preferência apresenta uma composição a qual é diferente daquela da primeira liga “*superalloy*” a base de níquel, em particular pelo fato de que esta é passível de ser soldada.

[021] Alguns exemplos de segundas ligas “*superalloy*” a base de níquel operacionais incluem a liga *Renè*® 142 modificada, apresentando uma composição nominal em percentual em peso de 12,0 por cento de cobalto, 6,8 por cento de crômio, 1,5 por cento de molibdênio, 4,9 por cento de tungstênio, 2,8 por cento de rênio, 6,35 por cento de tântalo, 6,15 por cento de alumínio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício, zircônio, háfnio e elementos como impurezas; a liga *Renè*® 80 modificada, apresentando uma composição nominal em percentual em peso de 14,0 por cento de crômio, 9,5 por cento de cobalto, 4,0 por cento de molibdênio, 4,0 por cento de tungstênio, 3,0 por cento de alumínio, 5,0 por cento de titânio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício,

zircônio, háfnio e elementos como impurezas; a liga *Renè®* 195 apresentando uma composição nominal em percentual em peso de 7,4 a 7,8 por cento de cromo, de 5,3 a 5,6 por cento de tântalo, de 2,9 a 3,3 por cento de cobalto, de 7,6 a 8,0 por cento de alumínio, de 3,7 a 4,0 por cento de tungstênio, de 1,5 a 1,8 por cento de rênio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício, zircônio, háfnio e elementos como impurezas. Em cada caso, o total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio é menor que 0,15 por cento em peso, mais preferencialmente menor que 0,10 por cento em peso, e ainda mais preferencialmente menor que 0,05 por cento em peso.

[022] Em suas formas não modificadas, cada uma destas segundas ligas "*superalloy*" a base de níquel apresenta uma quantidade substancialmente maior de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio presente como um reforçador da ligação granular, junto com outros elementos para fornecer boas propriedades físicas na liga "*superalloy*" reforçada pela gama/primária de gama. Na presente aplicação na forma de um topo indicador de reparo 46 soldado em um aerofólio 22 mono cristalino, contudo, não existe a necessidade de um reforço das ligações granulares para a segunda liga "*superalloy*" a base de níquel, uma vez que o topo indicador 46 não é limitado pela rigidez.

[023] Ainda mais, a presença destes reforçadores de ligação granular interfere com a aplicação do topo indicador de reparo 46 por soldagem, reduzindo o rendimento de produtos bem soldados durante a produção através das operações de soldagem. A falta dos elementos reforçadores de ligação granular melhora a aplicação da solda do topo indicador através da redução da quantidade de escória que se forma na solda. A escória pode, de forma não intencional, ser incorporada na solda causando inclusões e porosidade, e a sua redução reduz as chances de tais defeitos. Evitar tais inclusões quando se forma um excesso de escória, requer um alto nível técnico do soldador, e a redução do

excesso de escória reduz a necessidade de perícia e reduz o tempo de solda. Mesmo a escória externa deve ser removida por esmerilhamento, o que aumenta os custos do reparo. A formação de barriga de solda é reduzida, de tal forma que é evitada a necessidade de passes extras. A omissão dos reforçadores de ligação granular também evita a necessidade de alterar os procedimentos de soldagem no sentido de aumentar o calor na soldagem. Os problemas de formação de rachaduras na solda e de segregação, tais como a segregação do háfnio, também são reduzidos.

[024] Por consequência, a quantidade total dos reforçadores de ligação granular carbono, boro, silício, zircônio, háfnio é reduzida aos níveis supra indicados. Alguns destes reforçadores de ligação granular podem estar presentes uma vez que é muito difícil refiná-los da segunda liga “*superalloy*” a base de níquel, mas idealmente existe apenas tão pouco destes elementos quanto possível.

[025] A figura 4 é um diagrama de blocos ilustrando uma forma preferida de realização de um método de reparo de uma palheta de turbina a gás 20. A palheta de turbina 20 conforme descrita em precedência, a qual tenha estado em uso, é fornecida na etapa 60. Qualquer material danificado é removido do topo do aerofólio 32 na etapa 62. A etapa de remoção 60 tipicamente é realizada por esmerilhamento do material danificado, e usualmente inclui a parte remanescente do topo indicador original 44 e qualquer outro e qualquer outro dano no topo 32 do aerofólio 22.

[026] A segunda liga “*superalloy*” a base de níquel, com um baixo conteúdo de elementos reforçadores de ligação granular quais carbono, boro, silício, zircônio e háfnio como supra descrita, é fornecida na etapa 64. Esta etapa pode ser realizada através da designação de uma liga “*superalloy*” a base de níquel totalmente nova. Mais tipicamente, esta etapa é realizada conforme ilustrado na figura 4, através de inicialmente identificar uma candidata a segunda

liga “*superalloy*” a base de níquel que de qualquer forma cumpra os requisitos para um topo indicador, na etapa 66, e então preparar uma composição modificada apresentando uma quantidade total reduzida dos elementos de reforço carbono, boro, silício, zircônio e háfnio com um nível aceitável, na etapa 68.

[027] A segunda liga “*superalloy*” a base de níquel com um conteúdo reduzido de elementos de reforço das ligações granulares é aplicado por soldagem no topo 32 do aerofólio, na etapa 70. A soldagem é conseguida, de preferência, através de uma técnica tal como soldagem a arco com gás tungstênio, soldagem a laser, ou soldagem a arco de plasma. Nestas técnicas, a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel é fundida e deixada solidificar progressivamente sobre o topo 32 do aerofólio para formar o conjunto de solda. Após o depósito de um conjunto de solda super dimensionado, o material em excesso é removido e o conjunto de solda é conformado na forma aerodinâmica necessária, tipicamente por esmerilhamento. Alternativamente, pode ser preparada uma preforma da segunda liga “*superalloy*” a base de níquel e soldada ao topo 32 do aerofólio, mas esta alternativa é menos preferida uma vez que é difícil unir completamente a preforma ao topo 32 do aerofólio e é difícil obter a microestrutura desejada para o topo indicador de reparo 46 final.

[028] Apesar de ter sido descrita em detalhes uma particular forma de realização da invenção com o propósito de ilustração, várias modificações e melhorias podem ser feitas sem com isto escapar do espírito e escopo da invenção. Desta forma, a invenção não deve ser limitada exceto pelas reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. PALHETA DE TURBINA A GÁS (20) reparada compreendendo:

uma palheta de turbina (20) apresentando um aerofólio (22) mono cristalino feito de uma primeira liga “*superalloy*” a base de níquel; e

um topo indicador (46) de reparo soldado ao topo do aerofólio (22), sendo que o topo indicador (46) de reparo é feito de uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel diferente da primeira liga “*superalloy*” a base de níquel, **caracterizada** pelo fato de apresentar menos que 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio;

em que a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta uma dentre as seguintes composições:

uma composição nominal em porcentagem em peso de 12,0 por cento de cobalto, 6,8 por cento de cromo, 1,5 por cento de molibdênio, 4,9 por cento de tungstênio, 2,8 por cento de rênio, 6,35 por cento de tântalo, 6,15 por cento de alumínio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas; ou

uma composição nominal em porcentagem em peso de 14,0 por cento de cromo, 9,5 por cento de cobalto, 4,0 por cento de molibdênio, 4,0 por cento de tungstênio, 3,0 por cento de alumínio, 5,0 por cento de titânio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas; ou

uma composição nominal em porcentagem em peso de 7,4 a 7,8 por cento de cromo, de 5,3 a 5,6 por cento de tântalo, de 2,9 a 3,3 por cento de cobalto, de 7,6 a 8,0 por cento de alumínio, de 3,7 a 4,0 por cento de tungstênio, de 1,5 a 1,8 por cento de rênio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas.

2. PALHETA DE TURBINA A GÁS (20), de acordo com a

reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato na qual o total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio na segunda liga “*superalloy*” a base de níquel é menor que 0,10 por cento em peso.

3. PALHETA DE TURBINA A GÁS (20), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato na qual o total de carbono, boro, silício, zircônio e háfnio na segunda liga “*superalloy*” a base de níquel é menor que 0,05 por cento em peso.

4. PALHETA DE TURBINA A GÁS (20), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato na qual a primeira liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta uma composição nominal em porcentagem em peso de 7,5 por cento de cobalto, 7,0 por cento de cromo, 1,5 por cento de molibdênio, 5 por cento de tungstênio, 3 por cento de rênio, 6,5 por cento de tântalo, 6,2 por cento de alumínio, 0,15 por cento de háfnio, 0,05 por cento de carbono, 0,004 por cento de boro, 0,01 por cento de ítrio e o balanço em níquel e impurezas incidentais, ou uma composição nominal em percentual em peso de 12,5 por cento de cobalto, 4,2 por cento de cromo, 1,4 por cento de molibdênio, 5,75 por cento de tungstênio, 5,4 por cento de rênio, 7,2 por cento de tântalo, 5,75 por cento de alumínio, 0,15 por cento de háfnio, 0,05 por cento de carbono, 0,004 por cento de boro, 0,01 por cento de ítrio, o balanço em níquel e impurezas incidentais.

5. MÉTODO PARA O REPARO DE UMA PALHETA DE TURBINA A GÁS (20), compreendendo as etapas de:

fornecer uma palheta de turbina (20) que está em uso, sendo que a palheta de turbina (20) apresenta um aerofólio (22) mono cristalino com um topo de aerofólio (22), e sendo que o aerofólio (22) é feito de uma primeira liga “*superalloy*” a base de níquel;

remover o material danificado do topo de aerofólio (22); e

soldar um topo indicador (46) de reparo no topo de aerofólio (22),

sendo que o topo indicador (46) de reparo é feito de uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel diferente da primeira liga “*superalloy*” a base de níquel, **caracterizado** pelo fato de apresentar menos que 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício zircônio e háfnio;

em que a segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta uma dentre as seguintes composições:

uma composição nominal em porcentagem em peso de 12,0 por cento de cobalto, 6,8 por cento de cromo, 1,5 por cento de molibdênio, 4,9 por cento de tungstênio, 2,8 por cento de rênio, 6,35 por cento de tântalo, 6,15 por cento de alumínio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas; ou

uma composição nominal em porcentagem em peso de 14,0 por cento de cromo, 9,5 por cento de cobalto, 4,0 por cento de molibdênio, 4,0 por cento de tungstênio, 3,0 por cento de alumínio, 5,0 por cento de titânio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas; ou

uma composição nominal em porcentagem em peso de 7,4 a 7,8 por cento de cromo, de 5,3 a 5,6 por cento de tântalo, de 2,9 a 3,3 por cento de cobalto, de 7,6 a 8,0 por cento de alumínio, de 3,7 a 4,0 por cento de tungstênio, de 1,5 a 1,8 por cento de rênio, o balanço de níquel, carbono, boro, silício zircônio, háfnio e outros elementos como impurezas.

6. MÉTODO PARA O REPARO DE UMA PALHETA DE TURBINA A GÁS (20) de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas de:

identificar uma candidata a liga “*superalloy*” a base de níquel diferente da primeira liga “*superalloy*” a base de níquel, sendo que a candidata a liga “*superalloy*” a base de níquel apresenta mais que 0,15 por cento em peso do total de carbono, boro, silício zircônio e háfnio;

preparar uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel apresentando uma composição da candidata a liga “*superalloy*” a base de níquel;
e

aplicar um topo indicador (46) de reparo no topo de aerofólio (22) por soldagem, sendo que o topo indicador (46) de reparo é feito de uma segunda liga “*superalloy*” a base de níquel.

1/3

27

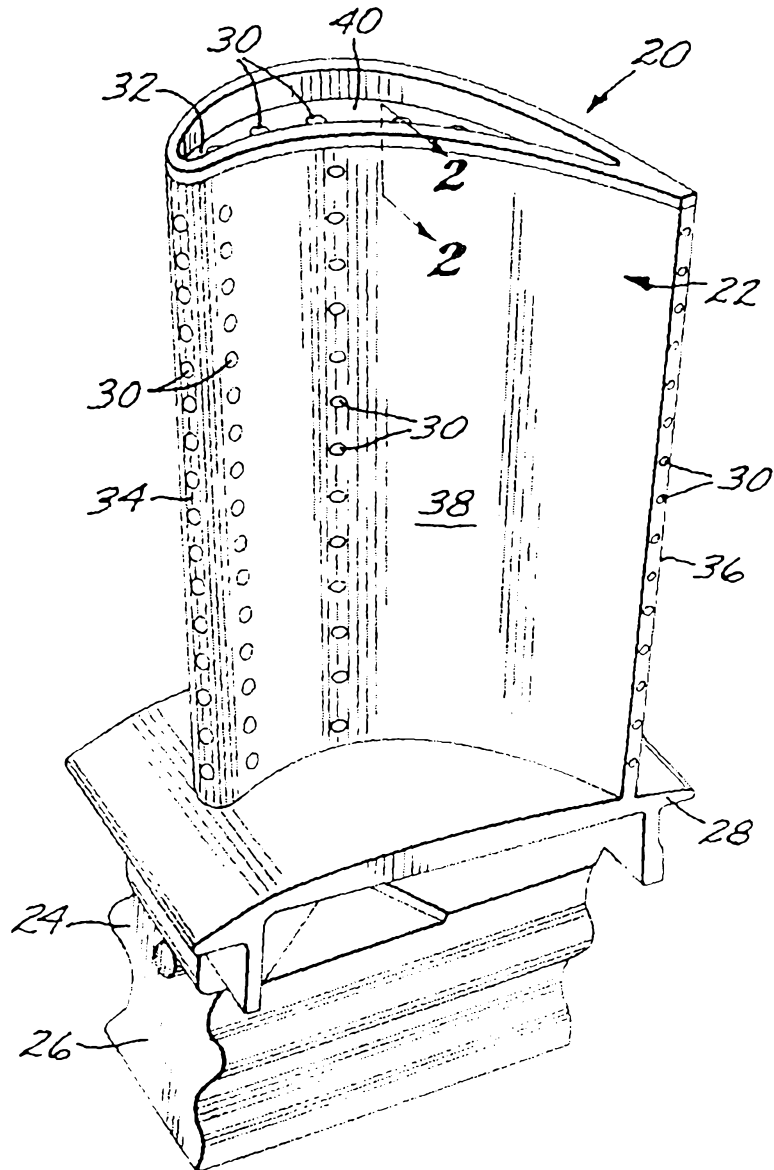


FIG. 1

2/3

24

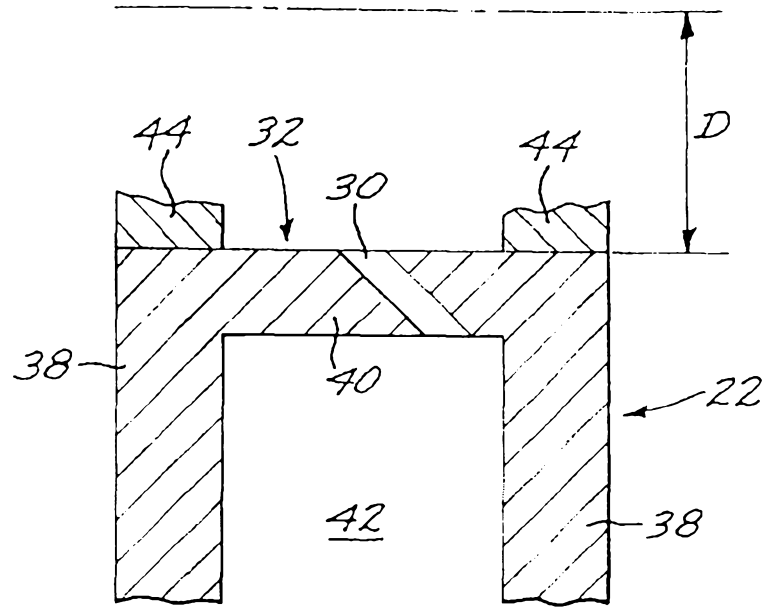


FIG. 2

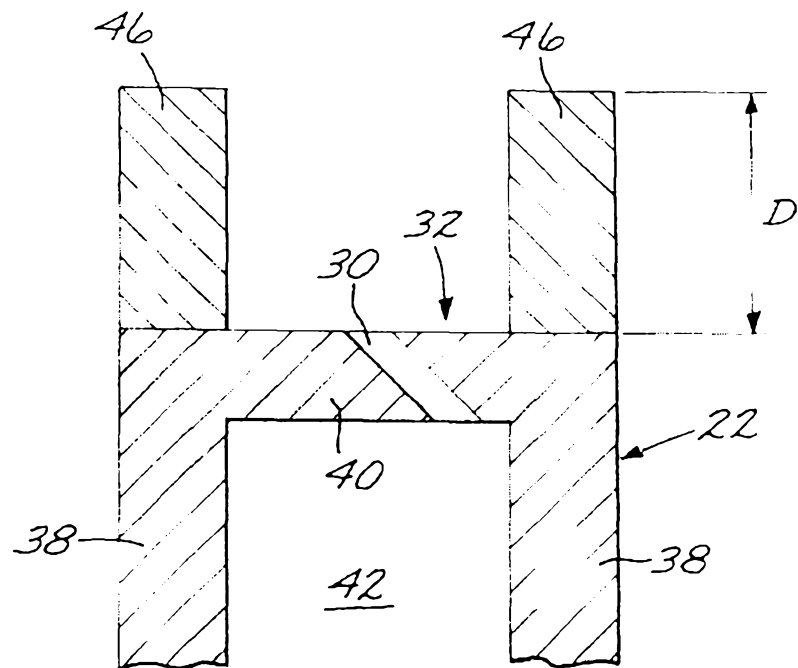


FIG. 3

FIG. 4

