



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

(11) BR 112015016771-3 B1



(22) Data do Depósito: 13/01/2014

(45) Data de Concessão: 28/01/2020

(54) Título: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA PEÇA POR FUNDIÇÃO POR CERA PERDIDA E RESFRIAMENTO DIRIGIDO

(51) Int.Cl.: B22D 27/04; B22C 9/04; B22C 21/14.

(30) Prioridade Unionista: 17/01/2013 FR 1350424.

(73) Titular(es): SNECMA.

(72) Inventor(es): YVAN RAPPART; CHRISTELLE BERTHELEMY; BENOÎT GEORGES JOCELYN MARIE; DAVID LOCATELLI; SÉBASTIEN DIGARD BROU DE CUISSART.

(86) Pedido PCT: PCT FR2014050061 de 13/01/2014

(87) Publicação PCT: WO 2014/111648 de 24/07/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 13/07/2015

(57) Resumo: 1/1 RESUMO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA PEÇA POR FUNDIÇÃO POR CERA PERDIDA E RESFRIAMENTO DIRIGIDO A presente invenção tem como objeto um processo de fabricação por fundição por cera perdida de uma peça metálica feita de liga de níquel, de estrutura colunar ou monocristalina com pelo menos uma cavidade de forma alongada, que compreende as etapas seguintes de realização de um modelo (20) feito de cera da peça com um núcleo cerâmico (10) que corresponde à dita cavidade, o núcleo cerâmico compreendendo uma primeira protuberância (14) de retenção em uma extremidade longitudinal e uma segunda protuberância (16) de retenção na extremidade oposta, realização de um molde casca em torno do modelo, o molde compreendendo uma base e a primeira protuberância do núcleo estando no lado da base, colocação no lugar do molde dentro de um forno, a base sendo colocada sobre a soleira do forno, vazada da dita liga em fusão dentro do molde casca, solidificação dirigida do metal vazado por resfriamento progressivo a partir da soleira de acordo com uma direção de propagação. Ele é caracterizado pelo fato de que o núcleo (10) é tornado solidário do molde casca por um meio de ancoragem (40) entre a primeira protuberância (14) do núcleo e a parede do (...).

“PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA PEÇA POR FUNDIÇÃO POR CERA PERDIDA E RESFRIAMENTO DIRIGIDO”

DOMÍNIO TÉCNICO

[0001] A presente invenção se refere ao domínio das peças metálicas, tais como pás de turbomáquina obtidas por vazamento de metal dentro de um molde em casca e visa um processo de fabricação dessas peças com solidificação dirigida de tipo colunar ou monocristalino.

TÉCNICA ANTERIOR

[0002] O processo de fabricação de peças metálicas por fundição por cera perdida compreende uma sucessão de etapas lembradas abaixo. Modelos de peças a fabricar são primeiro elaborados em cera ou em um outro material provisório. Se for o caso, os modelos são reunidos em um cacho em torno de um fuste central também feito de cera. Uma casca feita de material cerâmico é em seguida formada sobre os modelos, assim reunidos, por imersões sucessivas em barbotinas de composição apropriada que compreendem partículas de matérias cerâmicas em suspensão em um líquido, alternadas por polvilhação de areia refratária. Elimina-se em seguida o modelo feito de cera ao mesmo tempo em que se consolida por aquecimento o molde em casca assim formado. A etapa seguinte consiste em vazar uma liga metálica, notadamente uma superliga de níquel, em fusão dentro do molde em casca e depois em resfriar as peças obtidas de maneira a dirigir a solidificação das mesmas de acordo com a estrutura cristalina desejada. Depois de solidificação, a casca é eliminada por destruição do molde para extrair dele as peças. Finalmente procede-se às etapas de acabamento para eliminar o excesso de matéria.

[0003] A etapa de resfriamento e solidificação é, portanto, controlada. A solidificação da liga metálica sendo a passagem da fase líquida para a fase sólida, a solidificação dirigida consiste em fazer progredir o crescimento de “germes” dentro do banho de metal fundido de acordo com uma direção dada, evitando para isso o aparecimento de germes novos pelo controle do gradiente térmico e da velocidade de solidificação. A solidificação dirigida pode ser colunar ou monocristalina. A solidificação dirigida colunar consiste em orientar todas as juntas de grãos na mesma

direção, de tal maneira para que elas não contribuam para a propagação de fissuras. A solidificação dirigida monocristalina consiste em suprimir totalmente as juntas dos grãos.

[0004] Procede-se à solidificação dirigida, colunar ou monocristalina, de maneira conhecida em si colocando-se o molde em casca, aberto em sua parte inferior, sobre uma soleira resfriada, e depois se introduzindo o conjunto em um equipamento de aquecimento capaz de manter o molde cerâmico a uma temperatura superior ao liquidus da liga a moldar uma vez que o vazamento foi efetuado, o metal situado dentro das aberturas feitas na parte de baixo do molde em casca se solidifica quase instantaneamente em contato com a soleira resfriada e se coagula em uma altura limitada da ordem do centímetro na qual ele apresenta uma estrutura granular de eixos iguais, quer dizer que sua solidificação nessa altura limitada é efetuada de modo natural, sem direção privilegiada. Acima dessa altura limitada, o metal permanece no estado líquido, devido ao aquecimento exterior imposto. Desloca-se a soleira em velocidade controlada para baixo de maneira a extrair o molde cerâmico do dispositivo de aquecimento que leva a um resfriamento progressivo do metal que continua a se solidificar a partir da parte baixa do molde até sua parte alta.

[0005] A solidificação dirigida colunar é obtida pela manutenção de um gradiente de temperatura apropriado em grandeza e em direção na zona de mudança de fase líquida-sólida, durante essa operação de deslocamento da soleira. Isso permite evitar uma sobrefusão geradora de novos germes na parte da frente da frente de solidificação. Assim, os únicos germes que permitem o crescimento dos grãos são aqueles que preexistem na zona de eixos iguais solidificada em contato com a soleira resfriada. A estrutura colunar assim obtida é constituída por um conjunto de grãos estreitos e alongados.

[0006] A solidificação dirigida monocristalina compreende por outro lado a interposição entre a peça a moldar e a soleira resfriada, ou de uma chicana ou seletor de grão, ou de um germe monocristalino; controla-se o gradiente térmico e a velocidade de solidificação de tal modo para que não se criem novos germes na parte da frente da frente de solidificação. Disso resulta uma peça moldada monocristalina

depois de resfriamento.

[0007] Essa técnica de solidificação dirigida, seja ela colunar ou monocristalina, é correntemente utilizada para realizar peças moldadas, e notadamente pás de turbomáquina, quando é desejável conferir às peças moldadas propriedades mecânicas e físicas especiais. Esse é notadamente o caso quando as peças moldadas são pás de turbomáquina.

[0008] Além disso, de maneira conhecida em si, por ocasião da execução de um processo de moldagem por cera perdida, com ou sem solidificação dirigida, são utilizados massalotes, a fim de suprimir os defeitos de porosidade em zonas de extremidade das peças a fabricar. Na prática, são previstos volumes excedentes por ocasião da realização dos modelos feitos de cera, que são posicionados contra as zonas das peças que são suscetíveis de apresentar defeitos de porosidade depois de solidificação. Por ocasião da realização da casca, os volumes excedentes se traduzem por volumes suplementares no interior da casca, e são cheios com metal em fusão por ocasião do vazamento, da mesma maneira que as outras partes da casca. Os massalotes são as reservas de metal solidificado que preenchem os volumes suplementares na casca. Os defeitos de porosidade, quando eles sobrevêm, são nesse caso deslocados para os massalotes e não estão mais localizados nas próprias peças fabricadas. E depois, uma vez que o metal está solidificado e resfriado, os massalotes são eliminados por ocasião de uma operação de acabamento das peças, por exemplo, por usinagem, por truncamento ou por esmerilhamento.

[0009] É conhecido por outro lado, tal como descrito na patente FR 2724857 em nome da requerente, um processo de fabricação de pás monocristalinas, tais como de distribuidores de turbina, constituída por pelo menos uma lâmina entre duas plataformas transversais em relação às geratrizes da lâmina. O processo é do tipo de acordo com o qual se alimenta o molde com metal fundido em sua parte superior. Opera-se uma solidificação dirigida da qual a frente avança verticalmente de baixo para cima, seleciona-se um grão de cristal único por meio de um dispositivo de seleção colocado na parte inferior do molde e na saída do qual encontramos na presença de um grão único de orientação predeterminada e de direção que se confunde com a

vertical.

[0010] A presente invenção se refere à fabricação de peças que apresentam pelo menos uma cavidade e das quais o modelo feito de cera é moldado em torno de um macho feito de cerâmica. Esse macho, por ocasião do vazamento do metal em fusão reserva no interior da peça o volume que corresponde à cavidade desejada. Para uma pá de turbomáquina, são realizadas desse modo as cavidades percorridas pelo fluido de resfriamento.

[0011] Os machos feitos de cerâmica para as pás de turbomáquina compreendem, de acordo com um modo de fabricação conhecido, duas superfícies ou abas de retenção, uma em cada extremidade longitudinal. Os modelos são preparados de tal modo que um encastramento ou ancoragem do macho cerâmico é definido ao nível da zona do pé do macho na parte alta do molde. De fato, de acordo com essa técnica o macho e o modelo feito de cera são montados com o pé para cima e com o topo para baixo. Assim depois das operações de moldagem cerâmica, a casca cerâmica formada bloqueia o macho nessa zona. Por ocasião do vazamento, o metal em fusão preenche a impressão liberada pela cera que foi previamente eliminada. O metal fundido ocupa o espaço entre o macho e a parede da casca. A solidificação é em seguida operada pelo deslocamento de cima para baixo da soleira do forno sobre a qual é colocada a casca, a solidificação avança a partir do starter no qual vários grãos metálicos se solidificam e depois sucessivamente no topo da pá, na lâmina e no pé. Solidificando-se o metal cria uma segunda ancoragem do macho ao nível da superfície de extremidade na parte de início de solidificação. O macho é nesse caso fixado em suas duas extremidades e é forçado em compressão. Disso resulta uma deformação do macho por flambagem. O macho não respeita mais sua posição teórica e defeitos podem aparecer sobre a peça: espessuras de parede metálica podem não ser respeitadas, ou então o macho sob o efeito das tensões dos dois encastramentos em suas duas extremidades perfura a parede metálica da pá por flambagem. Nesses dois casos a peça deve ser posta de lado.

[0012] Por outro lado, o posicionamento do encastramento no início de solidificação apresenta o inconveniente de perturbar a frente de solidificação nascente

com o risco de gerar grãos parasitas ou desorientação. Por outro lado, existe no caso do monocristal um risco de defeito de recolagem das frentes crescentes de um lado e de outro da zona de encastramento.

EXPOSIÇÃO DA INVENÇÃO

[0013] A invenção tem, portanto, como objeto um processo de fabricação de uma peça que corrige os problemas apresentados acima.

[0014] O processo, de acordo com a invenção, de fabricação por fundição por cera perdida de uma peça metálica feita de liga de níquel, de estrutura colunar ou monocristalina com pelo menos uma cavidade de forma alongada, que compreende as etapas seguintes de:

realização de um modelo feito de cera da peça com um macho cerâmico que corresponde à dita cavidade, o macho cerâmico compreendendo uma primeira superfície de retenção em uma extremidade longitudinal e uma segunda superfície de retenção na extremidade oposta,

realização de um molde em casca em torno do modelo, o molde compreendendo uma base e a primeira superfície do macho estando no lado da base,

colocação no lugar do molde dentro de um forno, a base sendo colocada sobre a soleira do forno, vazada da dita liga em fusão dentro do molde em casca,

solidificação dirigida do metal vazado por resfriamento progressivo a partir da soleira de acordo com uma direção de propagação,

é caracterizado pelo fato de que o macho é tornado solidário do molde em casca por um meio de ancoragem entre a primeira superfície do macho e a parede do molde, a segunda superfície do macho sendo retida no molde por um meio de retenção que desliza sobre a parede do molde.

[0015] A solução da invenção permite evitar a deformação do macho por ocasião da progressão da solidificação dirigida, pois o macho não é retido por ancoragem em suas duas extremidades. Ele não é assim colocado em compressão pelas tensões que resultariam da diferença dos coeficientes de dilatação entre o molde e o macho. Não há por outro lado risco de geração de grãos parasitas ou de defeitos de recolagem do grão principal.

[0016] A solução da invenção garante também a posição do macho durante toda a fase de fabricação da peça: do molde feito de cera ao vazamento e à solidificação da peça.

[0017] Vantajosamente, o meio de ancoragem compreende uma haste, mais especialmente feita de cerâmica refratária, alumina, por exemplo, que atravessa a primeira superfície e a parede do molde. De preferência, a haste cerâmica é de pequeno diâmetro da ordem do milímetro. A haste atravessa o modelo feito de cera e a o macho que foram previamente perfurados com um diâmetro ligeiramente superior àquele da haste para evitar que tensões sejam geradas a esse nível.

[0018] De acordo com uma outra característica, o meio de retenção deslizante é formado por um espaço disposto entre a superfície e a parede do molde, esse espaço é obtido através de uma película de esmalte de dilatação colocada sobre a superfície da superfície na realização do modelo. Essa última é em seguida eliminada por ocasião da operação de desenceramento do molde. Trata-se, por exemplo, de um material de tipo esmalte de unhas que permite obter espessuras de alguns centésimos de milímetro por camada. Um esmalte que convém a essa aplicação compreende solventes, resina, nitrocelulose e plastificantes. Por exemplo, um esmalte tal como aquele "Thixotropic base" comercializado sob o nome comercial "Vernis à ongles Peggy Sage toutes formules" pode ser utilizado no processo da presente invenção.

[0019] Essa película é mais precisamente interposta entre a segunda superfície e a parede do molde. Ela é aplicada, antes da formação do molde em casca, sobre as superfícies da segunda superfície que são paralelas à direção de avanço do resfriamento; quer dizer no caso de uma soleira móvel, paralela à direção de deslocamento da soleira móvel. Essa película de esmalte é de preferência de pequena espessura da ordem de 3 a 5 centésimos de milímetro. Ela tem como objetivo evitar por um lado que a parede do molde venha se colar ao macho nessa zona e por outro lado criar um espaço livre, depois de desenceramento, de pequena espessura que permite a guia longitudinal da segunda superfície em relação ao molde e que evita que o molde exerça uma tensão sobre o macho.

[0020] As superfícies da segunda superfície que não são paralelas ao eixo do

avanço da solidificação, eixo de deslocamento, são cobertas inicialmente por um depósito de cera de maneira a deixar, depois de desenceramento, um espaço entre as ditas superfícies da segunda superfície e a parede do molde. Esse espaço impede, durante o vazamento de metal em fusão, o contato entre a parede da casca e a segunda superfície do macho, e evita qualquer colocação sob tensão do macho nessa zona durante a solidificação. Tipicamente a espessura desse depósito de cera é da ordem do milímetro para peças que apresentam um comprimento de 100 a 200 mm, ou seja, cerca de 1 % do comprimento da peça.

[0021] O processo permite a fabricação simultânea de várias peças. Os modelos das ditas peças são nesse caso reunidos em um cacho no interior de um molde em casca.

[0022] O processo se aplica para a fabricação de pelo menos uma peça metálica de estrutura colunar, um meio de germinação da estrutura cristalina sendo disposto entre o molde e a soleira do forno.

[0023] O processo se aplica para a fabricação de pelo menos uma peça de estrutura cristalina, um seletor de grão sendo disposto entre o elemento de germinação e o molde.

[0024] A invenção se aplica em especial para a fabricação de uma pá de turbomáquina, a primeira superfície estando no prolongamento do topo da lâmina da pá, a segunda superfície estando no prolongamento do pé da pá.

[0025] O processo utiliza vantajosamente um forno do qual a soleira é móvel verticalmente entra uma zona quente na qual o metal está em fusão e uma zona fria de solidificação do metal, a soleira sendo ela própria resfriada.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0026] Outras características e vantagens se destacarão da descrição que se segue de um modo de realização da invenção, dado a título de exemplo não limitativo, em referência aos desenhos anexos nos quais:

A figura 1 representa uma pá de turbomáquina que pode ser obtida de acordo com o processo da invenção;

A figura 2 representa esquematicamente um macho feito de cerâmica para

pá de turbomáquina;

A figura 3 representa o macho da figura 2 visto de perfil.

A figura 4 representa esquematicamente um modelo feito de cera com o macho da figura 2;

A figura 5 representa o molde em casca visto em corte longitudinal através do macho;

A figura 6 representa um exemplo de forno que permite a solidificação dirigida de metal vazado dentro de um molde em casca;

A figura 7 é uma vista ampliada da extremidade alta do molde em casca mostrado na figura 5.

DESCRIÇÃO DE UM MODO DE REALIZAÇÃO DA INVENÇÃO

[0027] A presente invenção se refere a um processo de fabricação de peças metálicas feitas de liga à base de níquel que permite por uma solidificação dirigida apropriada obter uma estrutura cristalina colunar ou monocristalina.

[0028] A invenção visa mais especialmente à fabricação de pás de turbomáquina tal como aquela representada na figura 1; uma pá 1 compreende uma lâmina 2, um pé 5 que permite sua fixação sobre um disco de turbina, e um topo 7 com se for o caso uma ponta. Em razão das temperaturas de funcionamento da turbomáquina, as pás são providas de um circuito interno de resfriamento percorrido por um fluido de resfriamento, geralmente ar. Uma plataforma 6 entre o pé e a lâmina constitui uma porção da parede radialmente interior do percurso de escoamento de gás. A peça representada aqui é uma pá móvel, mas a invenção se aplica também a um distribuidor ou ainda a qualquer outra peça que apresenta um macho.

[0029] Em razão da complexidade do circuito de resfriamento no interior da peça, é vantajoso realizar a mesma por fundição por cera perdida com um macho em cerâmica para dispor as cavidades do circuito de resfriamento.

[0030] As figuras 2 e 3 representam esquematicamente um macho de forma simplificada, feito de cerâmica, utilizado para dispor as cavidades internas de uma pá de turbomáquina. O macho 10 de forma alongada compreende um ramo ou uma pluralidade de ramos 11 separados por espaços 12 para, depois do vazamento do

metal, formar as divisórias entre as cavidades; no exemplo representado, o macho compreende dois ramos 11 separados por um espaço 12. Em uma extremidade, o macho é prolongado por uma superfície ou aba 14 da qual a função é sustentar o macho durante a fabricação da peça, mas que não corresponde necessariamente a uma parte da peça, uma vez que essa última está terminada. Na extremidade oposta o macho compreende uma segunda superfície 16 para a retenção também do macho durante as etapas de fabricação. É observado na figura 3 que o macho tal como representado é relativamente fino em relação a seu comprimento. É compreendido que quanto mais fino for o macho em relação a seu comprimento, mais sensível ele será à flambagem.

[0031] Esse macho é colocado dentro de um molde para a fabricação do modelo feito de cera. A impressão desse molde tem a forma da peça a obter. Por injeção de cera dentro desse molde, é obtido o modelo da peça. As superfícies 14 e 16 servem para a retenção do macho dentro do molde de cera. A figura 4 representa esquematicamente esse modelo 20 feito de cera com o macho 10 em traços pontilhados. O modelo se estende em uma primeira extremidade 24 no prolongamento da lâmina de maneira a recobrir a superfície 14 e na extremidade oposta 26, ao nível do pé. É notado que uma parte 16A da superfície 16 não é recoberta de cera. Essa parte 16A compreende superfícies paralelas ao eixo do macho e é revestida de um esmalte do qual a função é explicada mais adiante.

[0032] Vários modelos são geralmente reunidos em cacho de maneira a fabricar várias peças simultaneamente. Os modelos são, por exemplo, dispostos em tambor paralelamente em torno de um cilindro central vertical e sustentados pelas extremidades. A parte inferior é montada sobre um elemento destinado a assegurar a germinação da estrutura cristalina. A etapa seguinte consiste em constituir um molde em casca em torno do ou dos modelos. Com esse objetivo, como também é conhecido, a reunião é imersa em barbotinas de maneira a colocar em camadas sucessivas as partículas cerâmicas refratárias. O molde é finalmente consolidado por aquecimento e a cera eliminada pela operação de desenceramento.

[0033] Foi representada na figura 5, em corte longitudinal, esquematicamente a

disposição da invenção entre o macho 10 e a casca 30 ao nível de um só modelo 20.

[0034] A primeira superfície 14 é mantida dentro do molde 30 por uma haste feita de cerâmica refratária 40, que a atravessa e se estende na parede do molde 30 sendo encastrada nela. A haste 40 foi colocada no lugar antes da realização do molde em casca, depois que o modelo foi perfurado ao nível da superfície 14. A perfuração tem um diâmetro ligeiramente superior àquele da haste de maneira que não são criadas tensões entre a haste e a superfície e que a haste assegura um posicionamento correto do macho dentro do modelo.

[0035] A segunda superfície 16, oposta à primeira, é inicialmente revestida com uma camada de esmalte 17 sobre a parte 16A do macho que não é recoberta de cera e que depois de constituição do molde em casca entra em contato direto com a parede interna do molde. Depois de desenceramento do molde, como é visto na figura 5, a camada tendo desaparecido deixa um espaço livre entre a superfície 16 do macho e a parede do molde em casca. A referência 17 designa esse espaço livre deixado pela camada de esmalte. Esse espaço 17 tem uma pequena espessura, 3 a 5 centésimos de milímetros. Ele forma um meio de retenção deslizante da segunda superfície 16 sobre a parede da casca 30.

[0036] Por outro lado, as superfícies – aqui a superfície horizontal 16B – que não são paralelas ao eixo do avanço da solidificação são cobertas inicialmente por um depósito de cera 18. Esse depósito de cera deixa depois de desenceramento um espaço livre, de mesma referência 18, que evita que a superfície 16 do macho entre em contato com a parede da casca quando o macho se dilata, ele evita assim a colocação sob tensão do macho. Tipicamente, a espessura desse depósito de cera é da ordem do milímetro para peças que apresentam um comprimento de 100 a 200 mm, ou seja, cerca de 1 % do comprimento da peça.

[0037] Não estando forçado o macho não apresenta o risco de ser submetido a uma flambagem e as espessuras de parede iniciais da peça entre a parede do molde e o macho são conservadas.

[0038] A figura 5 mostra, em corte ao longo da peça, o molde em casca 30 e o macho 10 no interior do molde com os ramos 11, as superfícies 14 e 16. O corte do

macho é feito de acordo com a linha VV da figura 4. O volume 30' corresponde à cera do modelo ou, depois de solidificação da casca, ao espaço entre a parede do molde e o macho a encher com o metal. A haste 40 atravessa a primeira superfície 14; ela é suficientemente longa para ser ancorada nas paredes do molde em casca 30. Desse modo, o macho 10 é posicionado no interior do molde em casca 30.

[0039] Depois de desenceramento e consolidação, o molde é colocado sobre a soleira de um forno equipado para a solidificação dirigida. Um tal forno 100 é representado na figura 6. É visto nela um recinto 101 provido de elementos aquecedores 102. Um orifício 103 de alimentação com metal em fusão se comunica com um cadinho 104 que contém a carga de metal em fusão e que basculando vem encher o molde em casca 30 disposto sobre a soleira 105 do forno. A soleira é móvel verticalmente, ver a flecha, e é resfriada pela circulação de água dentro de um circuito 106 interno a sua placa. O molde repousa por sua base sobre a soleira resfriada. A parte inferior do molde é aberta sobre a soleira por intermédio de um órgão de germinação.

[0040] O método de fabricação, tal como explicado no preâmbulo do pedido, compreende o vazamento do metal em fusão a partir do cadinho 104 diretamente dentro do molde 30 que é mantido a uma temperatura suficiente para conservar o metal em fusão, pelos meios de aquecimento 102 do recinto 101 e onde ele vem preencher os vazios 30' entre o macho 10 e a parede do molde 30. Como a base do molde está em contato térmico com a soleira pelo elemento de germinação, o metal se solidifica formando assim uma estrutura cristalina que se propaga de baixo para cima. A soleira 105 é resfriada em permanência e é descida progressivamente para fora do recinto aquecido. No caso de uma estrutura monocristalina um seletor de grão é interposto entre a germinação e a solidificação como é conhecido em si.

[0041] As grandes diferenças de temperatura criam tensões entre as diferentes zonas do molde com o metal. Pela disposição da invenção e da haste 40, o macho é sustentado pela ancoragem da primeira superfície 14 na única zona inferior de inicialização da solidificação. Como é visto na figura 7 o macho está livre para se dilatar diferencialmente no sentido de seu comprimento em relação à casca 30, pois

na extremidade oposta da primeira superfície, a segunda superfície 16 é guiada ao longo da parede do molde graças ao espaço livre 17 deixado pela camada de esmalte, eliminada por ocasião do desenceramento do molde.

[0042] Além disso, as superfícies da segunda superfície 16 – aqui a superfície horizontal 16B – que não são paralelas ao eixo do avanço da solidificação, graças ao espaço livre 18 deixado pelo depósito de cera não entram em contato com a parede da casca. Evita-se assim a colocação sob tensão do macho. Tipicamente, a espessura desse espaço que corresponde ao depósito de cera é da ordem do milímetro para peças que apresentam um comprimento de 100 a 200 mm, ou seja, cerca de 1 % do comprimento da peça. Não estando forçado o macho não apresenta o risco de ser submetido a uma flambagem e as espessuras de parede iniciais da peça entre a parede do molde e o macho são conservadas.

[0043] Uma vez que o metal foi resfriado, quebra-se o molde e extrai-se as peças que são dirigidas para a oficina de acabamento.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de fabricação por fundição por cera perdida de uma peça metálica feita de liga de níquel, de estrutura colunar ou monocristalina com pelo menos uma cavidade de forma alongada, que compreende as etapas seguintes de:

realização de um modelo (20) feito de cera da peça com um macho cerâmico (10) que corresponde à dita cavidade, o macho cerâmico (10) compreendendo uma primeira superfície (14) de retenção em uma extremidade longitudinal e uma segunda superfície (16) de retenção na extremidade oposta, a segunda superfície (16) compreendendo superfícies (16A) que são paralelas à direção de propagação do resfriamento e superfícies (16B) que não são paralelas à direção de propagação do resfriamento,

realização de um molde em casca (30) em torno do modelo (20), o molde em casca (30) compreendendo uma base e a primeira superfície (14) do macho estando no lado da base do molde em casca (30),

eliminação da cera por uma operação de desenceramento do molde em casca (30),

colocação do molde em casca (30) dentro de um forno (100), a base sendo colocada sobre a soleira (105) do forno (100), vazada da dita liga em fusão dentro do molde em casca (30),

solidificação dirigida do metal vazado por resfriamento progressivo a partir da soleira (105) de acordo com uma direção de propagação, as superfícies (16B) da segunda superfície (16) que não são paralelas à direção de propagação do resfriamento sendo cobertas inicialmente por um depósito de cera (18),

caracterizado pelo fato de que o macho (10) é tornado solidário do molde em casca (30) por um meio de ancoragem (40) entre a primeira superfície (14) do macho (10) e a parede do molde em casca (30), a segunda superfície (16) do macho (10) sendo retida no molde em casca (30) por um meio de retenção deslizante (17) sobre a parede do molde em casca (30), o dito meio de retenção deslizante (17) sendo uma camada de esmalte (17) aplicada, antes da realização do molde em casca (30), sobre as superfícies (16A) da segunda superfície (16) que são paralelas à direção de

propagação do resfriamento e que não são recobertas de cera, as superfícies (16A) da segunda superfície (16) que são paralelas à direção de propagação do resfriamento, que não são recobertas de cera e que, após constituição do molde em casca (30), entram em contato direto com a parede interna do molde (30), sendo inicialmente integralmente revestidas da camada de esmalte (17), a espessura da camada de esmalte (17) estando compreendida entre 3 e 5 centésimos de milímetros, a dita camada de esmalte (17) sendo eliminada por ocasião da operação de desenceramento do molde em casca (30), assim como a cera (18) que recobre as superfícies (16B) da segunda superfície (16) que não são paralelas à direção de propagação do resfriamento, de modo que um espaço livre (17, 18) é criado entre a segunda superfície (16) do macho (10) e a parede do molde em casca (30), o dito espaço livre (17, 18) criado sendo mantido por ocasião da progressão da solidificação dirigida, de maneira a evitar que a segunda superfície (16) do macho (10) entre em contato com a parede do molde em casca (30) quando o macho (10) se dilata.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o meio de ancoragem (40) compreende uma haste que atravessa a primeira superfície (14) e que é encastrada na parede do molde.

3. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a haste é feita de cerâmica.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que é para a fabricação de uma pluralidade de peças, os modelos das ditas peças sendo reunidos em um cacho no interior de um molde em casca (30).

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que é para a fabricação de pelo menos uma peça metálica de estrutura colunar, um elemento de germinação da estrutura cristalina sendo disposto entre o molde em casca (30) e a soleira (105) do forno (100).

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que é para a fabricação de pelo menos uma peça de estrutura monocristalina que

compreende um seletor de grão entre o elemento de germinação e o molde em casca (30).

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que a peça é uma pá de turbomáquina, a primeira superfície estando no prolongamento do topo da lâmina da pá, a segunda superfície estando no prolongamento do pé da pá.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que a soleira é móvel verticalmente entre uma zona quente na qual o metal está em fusão e uma zona fria de solidificação do metal, a soleira sendo ela própria resfriada.

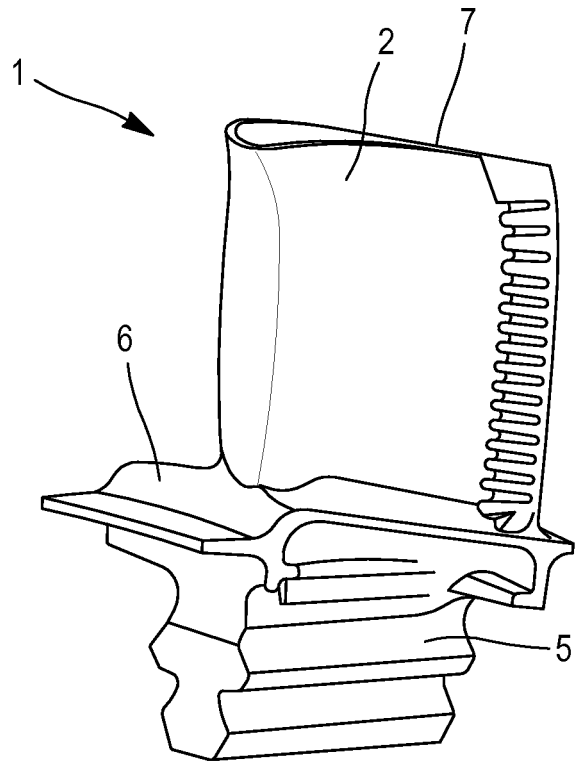


FIG. 1

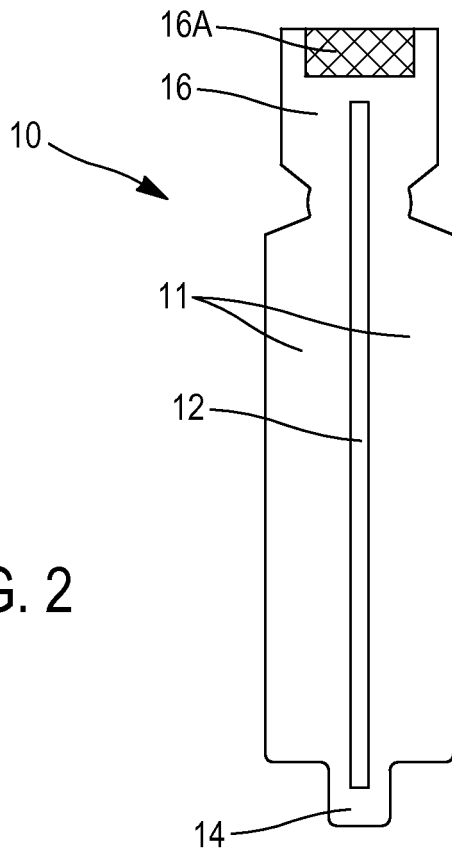


FIG. 2

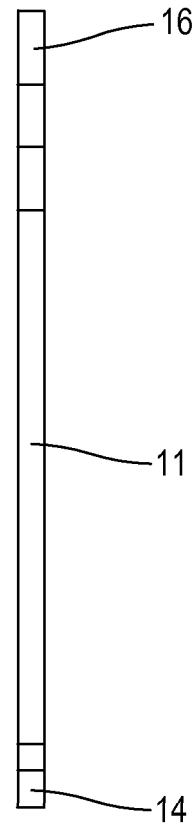


FIG. 3

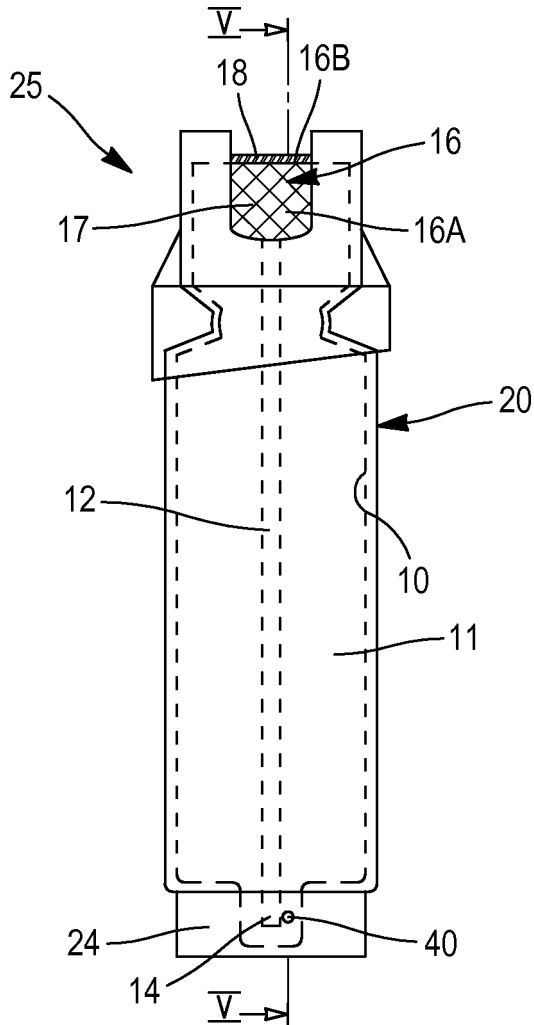


FIG. 4

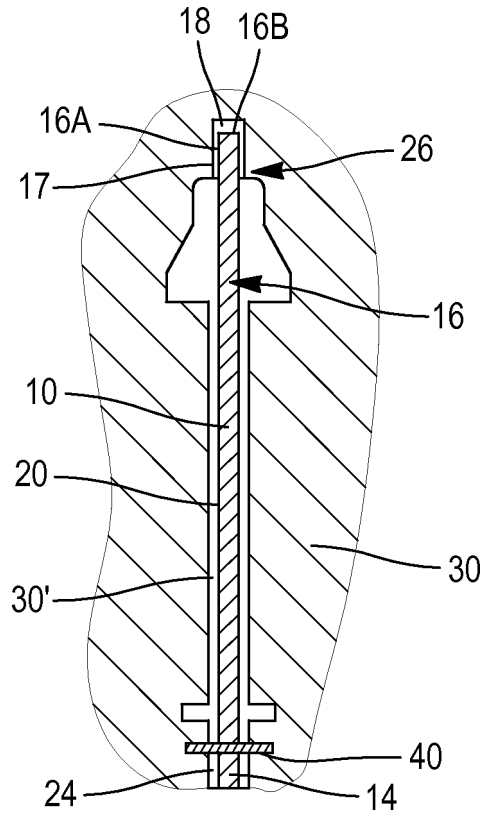


FIG. 5

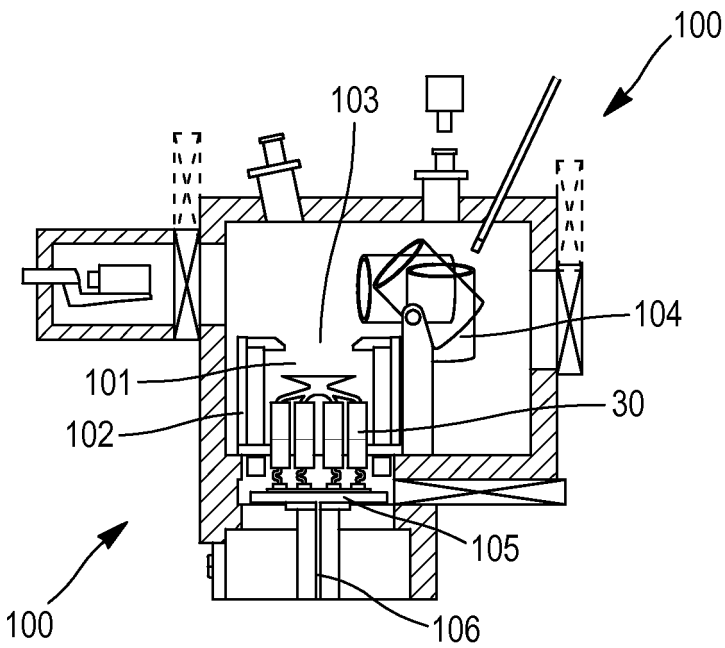


FIG. 6

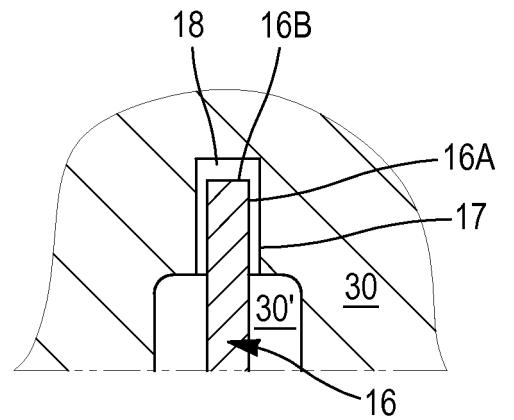


FIG. 7