



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

(21) BR 10 2013 004515-2 A2

(22) Data de Depósito: 26/02/2013

(43) Data da Publicação: 22/04/2014

(RPI 2259)



(51) Int.Cl.:

B22D 15/00

C04B 7/32

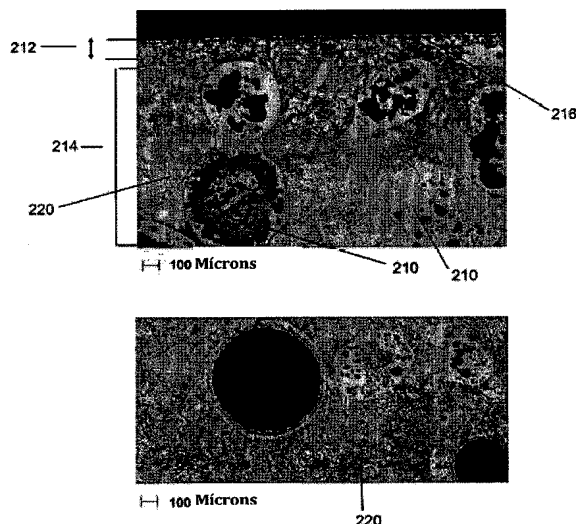
(54) Título: MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, COMPOSIÇÃO DE MOLDE, COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE DE UM MOLDE, MÉTODO PARA FORMAR UM MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, MÉTODO DE FUNDIÇÃO DE TITÂNIO E LIGAS DE TITÂNIO E ARTIGO DE TITÂNIO OU LIGA DE TITÂNIO PRODUZIDO PELO MÉTODO DE FUNDIÇÃO

(57) Resumo: MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, COMPOSIÇÃO DE MOLDE, COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE DE UM MOLDE, MÉTODO PARA FORMAR UM MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, MÉTODO DE FUNDIÇÃO DE TITÂNIO E LIGAS DE TITÂNIO E ARTIGO DE TITÂNIO OU LIGA DE TITÂNIO PRODUZIDO PELO MÉTODO DE FUNDIÇÃO Trata-se de modo geral a composições de molde e métodos de moldagem e os artigos moldados desse modo. Mais especificamente, a descrição se refere a composições de molde, composições de revestimento de face intrínseco, e métodos para fundir artigos contendo titânio, e os artigos contendo titânio moldados desse modo.

(30) Prioridade Unionista: 29/02/2012 US 13/407,917

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) Inventor(es): BERNARD PATRICK BEWLEY, BRIAN ELLIS, JOAN MCKIEVER, MICHAEL WEIMER, STEPHEN BANCHERI



“MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, COMPOSIÇÃO DE MOLDE, COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE DE UM MOLDE, MÉTODO PARA FORMAR UM MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, MÉTODO DE FUNDIÇÃO DE TITÂNIO E LIGAS DE TITÂNIO E ARTIGO DE TITÂNIO OU LIGA DE TITÂNIO PRODUZIDO PELO MÉTODO DE FUNDIÇÃO”

ANTECEDENTES

As turbinas de gás ou combustão modernas devem satisfazer as demandas mais elevadas em relação à confiabilidade, peso, potência, economia, e vida útil operacional. No desenvolvimento dessas turbinas, a seleção de material, a busca de novos materiais adequados, bem como a busca por novos métodos de produção, entre outras coisas, exercem uma função importante para cumprir os padrões e satisfazer a demanda.

Os materiais usados para turbinas de gás podem incluir ligas de titânio, ligas de níquel (também denominadas superligas) e aços de alta resistência. Para motores de aeronaves, ligas de titânio são geralmente usadas para partes de compressor, ligas de níquel são adequadas para as partes quentes do motor de aeronave, e aços de alta resistência são usados, por exemplo, para alojamentos de compressor e alojamentos de turbina. Os componentes de turbina de gás altamente carregados ou pressionados, como componentes de um compressor, por exemplo, são tipicamente partes forjadas. Os componentes de uma turbina, por outro lado, são tipicamente incorporados como partes fundidas em cera perdida.

Embora a fundição por cera perdida não seja um processo novo, o mercado de fundição por cera perdida continua a crescer à medida que a demanda de partes mais intrincadas e complicadas aumenta. Devido à grande demanda de peças fundidas de precisão de alta qualidade, ainda há a necessidade de desenvolver novas formas de produzir peças fundidas em cera

perdida de maneira mais rápida, eficiente, econômica e de maior qualidade.

Os compostos de molde em cera perdida convencionais que consistem em sílica fundida, cristobalita, gesso, ou similares, que são usados na indústria de fundição de joias e próteses dentárias geralmente não são adequados para fundir ligas reativas, como ligas de titânio. Um motivo se deve ao fato de haver uma reação entre o molde de titânio e o molde em cera perdida.

Há a necessidade de um molde em cera perdida simples que não reaja significativamente com titânio e ligas de alumineto de titânio. Abordagens foram adotadas anteriormente com moldes cerâmicos em casca para peças fundidas de liga de titânio. Nos exemplos anteriores, para reduzir as limitações dos compostos de molde em cera perdida convencionais, vários materiais de molde adicionais foram desenvolvidos. Por exemplo, um composto em cera perdida foi desenvolvido de um tipo oxidação-expansão em que óxido de magnésio ou zircônia foi usado como um componente principal e zircônio metálico foi adicionado ao constituinte principal para compensar o encolhimento devido à solidificação do metal fundido. Desse modo, também há a necessidade de métodos de fundição por cera perdida simples e confiáveis que permitam a fácil extração de metal de forma próxima à final ou ligas de metal de um molde em cera perdida que não reage significativamente com o metal ou liga de metal.

SUMÁRIO

Os aspectos da presente descrição proporcionam composições de molde para fundição, métodos de fundição, e artigos fundidos que superam as limitações das técnicas convencionais. Apesar de alguns aspectos da descrição se referirem à fabricação de componentes para a indústria aeroespacial, por exemplo, pás de turbina de motor, os aspectos da presente descrição podem ser empregados na fabricação de qualquer componente em qualquer indústria, em

particular, aqueles componentes que contêm titânio e/ou ligas de titânio.

Um aspecto da presente descrição é um molde para fundir um artigo contendo titânio, que compreende: um cimento de aluminato de cálcio que compreende monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maienita, em que o molde possui um revestimento de face intrínseco de cerca de 10
5 mícrons a cerca de 250 mícrons entre o volume do molde e a cavidade do molde. Em uma modalidade, o revestimento de face é um revestimento de face intrínseco contínuo. Em uma modalidade, o molde como citado compreende ainda sílica, por exemplo, sílica coloidal.

10 O molde, em um exemplo, compreende o volume do molde e um revestimento de face intrínseco, com o volume do molde e o revestimento de face intrínseco possuindo composições diferentes, e o revestimento de face intrínseco compreende aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 mícrons. Em outra modalidade, o molde compreende o
15 volume do molde e um revestimento de face intrínseco, em que o volume do molde e do revestimento de face intrínseco possui composições diferentes e em que o volume do molde compreende partículas de alumina maiores que cerca de 50 mícrons. O molde, em outro exemplo, compreende o volume do molde e um revestimento de face intrínseco, em que o volume do molde
20 compreende partículas de alumina maiores que cerca de 50 mícrons e o revestimento de face intrínseco compreende partículas de aluminato de cálcio menores que cerca de 50 mícrons em tamanho.

Em algumas modalidades, o revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais monoaluminato de
25 cálcio que o volume do molde. Em uma modalidade, o revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento menos alumina que o volume do molde. Em outra modalidade, o revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato

de cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maenita que o volume do molde.

A fração de peso de monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é, em um exemplo, maior que 0,60 e a fração de peso de maenita é menor que 0,10, Em uma modalidade, o monoaluminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a 0,95, e o monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,10 a 0,90, Em outra modalidade, o dialuminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a cerca de 0,80, e o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,05 a 0,90, Ainda em outra modalidade, maenita no volume da composição de molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,01 a cerca de 0,30, e a maenita no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,001 a 0,05. Em uma modalidade particular, o monoaluminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a 0,95, e o monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,1 a 0,90; o dialuminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a cerca de 0,80, e o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,05 a 0,90; e em que maenita no volume da composição de molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,01 a cerca de 0,30, e a maenita no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,001 a 0,05.

Em um exemplo, o molde compreende ainda partículas de óxido de alumínio no volume do molde que são menores que cerca de 500 microns na dimensão externa. Em um exemplo, as partículas de óxido de alumínio compreendem de cerca de 40 % por peso a cerca de 68 % por peso da composição usada para produzir o molde. Essas partículas de óxido de alumínio podem ser ocas. Em outra modalidade, o cimento de aluminato de

cálcio compreende mais de 30% por peso da composição usada para produzir o molde. Em uma modalidade, o molde compreende ainda mais que cerca de 10% por peso e menos que cerca de 50% por peso da composição de molde em óxido de cálcio.

5 Em um exemplo, o molde compreende ainda partículas de óxido de alumínio, partículas de óxido de magnésio, partículas de óxido de cálcio, partículas de óxido de zircônio, partículas de óxido de titânio, partículas de óxido de silício, ou composições dessas.

10 A porcentagem de sólidos em uma mistura inicial de cimento de aluminato de cálcio – líquido usada para produzir o molde é, em um exemplo, de cerca de 71 a cerca de 78 %. Em outro exemplo, a porcentagem de sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio – líquido com a alumina em larga escala, usada para produzir o molde, é de cerca de 75% a cerca de 90%.

15 Um aspecto da presente descrição é um artigo contendo titânio formado no molde citado na reivindicação 1. O artigo, em um exemplo, compreende uma pá de turbina contendo alumineto de titânio. Em um aspecto, a presente descrição é o molde como citado aqui, em que o molde forma um artigo contendo titânio. Em uma modalidade relacionada, o artigo contendo titânio compreende uma pá de turbina contendo alumineto de titânio.

20 Um aspecto da presente descrição é uma composição de revestimento de face de um molde que é usado para fundir um artigo contendo titânio, sendo que a composição de revestimento de face compreende: monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maienita, em que a composição de revestimento de face é um revestimento de face intrínseco,
25 possui cerca de 10 microns a cerca de 250 microns de espessura, e fica localizada entre o volume do molde e a superfície do molde que se abre na cavidade de molde. O revestimento de face compreende, em um exemplo, aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50

mícrons. Em uma modalidade, a composição de revestimento de face compreende ainda sílica, por exemplo, sílica coloidal.

Em uma modalidade, o revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato de cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maienita que o volume do molde. A fração de peso de monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é, em um exemplo, maior que 0,60 e a fração de peso de maienita é menor que 0,10. Em uma modalidade, o monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,10 a 0,90; o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,05 a 0,90; e a maienita no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,001 a 0,05.

Um aspecto da presente descrição é um método para formar um molde de fundição para fundir um artigo contendo titânio, sendo que o método compreende: combinar aluminato de cálcio com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, em que a porcentagem de sólidos na mistura inicial de aluminato de cálcio / líquido é cerca de 70% a cerca de 80% e a viscosidade da pasta aquosa é cerca de 10 a cerca de 250 centipoise; adicionar partículas de óxido na pasta aquosa de modo que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio / líquido com as partículas de óxido em larga escala (maiores que 50 mícrons) sejam cerca de 75% a cerca de 90%; introduzir a pasta aquosa em uma cavidade do molde que contém um padrão temporário; e permitir que a pasta aquosa seja curada na cavidade do molde para formar um molde de um artigo contendo titânio.

Um aspecto da presente descrição é um método de fundição de titânio e ligas de titânio que compreende: obter uma composição de molde de fundição por cera perdida que compreende aluminato de cálcio e óxido de

alumínio, em que o aluminato de cálcio é combinado com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, e em que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio / líquido com a alumina em larga escala é cerca de 75% a cerca de 90%, e em que o molde resultante possui um revestimento de face intrínseco; despejar a composição de molde em cera perdida em um recipiente contendo um padrão temporário; curar a composição de molde de fundição por cera perdida; remover o padrão temporário do molde; queimar o molde; pré-aquecer o molde em uma temperatura de fundição de molde; despejar o titânio ou liga de titânio fundida no molde aquecido; solidificar o titânio ou liga de titânio fundida e formar uma peça fundida de titânio ou liga de titânio solidificada; e remover a peça fundida de titânio ou liga de titânio solidificada do molde. Em uma modalidade, reivindica-se que um artigo de titânio ou liga de titânio seja feito pelo método de fundição como ensinado aqui.

Um aspecto da presente descrição é uma composição de molde para fundir um artigo contendo titânio, que compreende: um cimento de aluminato de cálcio que compreende monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maienita. Em uma modalidade, a composição de molde compreende adicionalmente partículas ocas de óxido de alumínio. Outro aspecto da presente descrição é uma composição de molde de fundição de artigo contendo titânio que compreende aluminato de cálcio. Por exemplo, um aspecto da presente descrição pode ser exclusivamente adequado para fornecer composições de molde que serão usadas em moldes para fundir artigos ou componentes contendo titânio e/ou contendo liga de titânio, por exemplo, pás de turbina contendo titânio.

Esses e outros aspectos, características, e vantagens dessa descrição se tornarão óbvios a partir da seguinte descrição detalhada dos vários aspectos da descrição determinados em conjunto com os desenhos em

anexo.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

O assunto em questão, que é considerado como a invenção, é particularmente apontado e distintamente reivindicado nas reivindicações na conclusão do relatório descritivo. Essas e outras características e vantagens da
5 descrição serão facilmente entendidas a partir da seguinte descrição detalhada de aspectos da invenção determinados em conjunto com os desenhos em anexo, nos quais:

As Figuras 1a e 1b mostram um exemplo da microestrutura de
10 molde após a queima de alta temperatura com as imagens de microscópio eletrônico de varredura de formação de imagens eletrônicas de difusão retrógrada do corte transversal do molde combustado a 1000 graus Celsius, em que a Figura 1a indica as partículas de alumina presentes e a Figura 1b aponta para o cimento de aluminato de cálcio. A Figura 1a também mostra a
15 microestrutura de molde, mostra o volume do molde, o local do revestimento de face intrínseco, e a superfície interna do molde / cavidade do molde.

A Figura 2a e Figura 2b mostram um exemplo da microestrutura de molde após a queima de alta temperatura com as imagens de microscópio eletrônico de varredura de formação de imagens eletrônicas de difusão retrógrada do corte transversal do molde combustado a 1000 graus Celsius, em
20 que a Figura 2a indica o cimento de aluminato de cálcio e partículas de alumina de escala precisa presentes e a Figura 2b indica uma partícula de alumina. A Figura 2b também mostra a microestrutura de molde, mostra o volume do molde, o local do revestimento de face intrínseco, e a superfície interna do
25 molde / cavidade do molde.

As Figuras 3 e 4 mostram exemplos da microestrutura de molde após a queima de alta temperatura, mostra alumina e monoaluminato de cálcio, em que o monoaluminato de cálcio reage com alumina para formar dialuminato

de cálcio, e em que o molde em um exemplo é combustado para reduzir o teor de maenita.

A Figura 5a mostra um fluxograma, de acordo com os aspectos da descrição, que ilustra um método para formar um molde de fundição para fundir um artigo contendo titânio.

A Figura 5b mostra um fluxograma, de acordo com os aspectos da descrição, que ilustra um método de fundição de titânio e ligas de titânio.

A Figura 6 mostra a condutividade térmica do volume do molde como uma função de temperatura; a condutividade térmica do molde é comparada com a condutividade térmica de alumina monolítica (NIST data).

A Figura 7 mostra um esquema do molde com o revestimento de face. A Figura 7a mostra o molde com o revestimento de face intrínseco que possui, por exemplo, aproximadamente 100 microns de espessura. O esquema mostra o revestimento de face intrínseco com a cavidade do molde e as posições de molde de aluminato de cálcio também indicadas. A Figura 7b mostra o molde com o revestimento de face extrínseco que possui aproximadamente 100 microns de espessura. O esquema mostra o revestimento de face extrínseco com a cavidade do molde e as posições de molde de aluminato de cálcio molde também indicadas.

20

DESCRIÇÃO DETALHADA

A presente descrição se refere geralmente a composições de moldes e métodos de fabricação de molde e artigos fundidos a partir dos moldes, e, mais especificamente, a composições de molde e métodos para fundir artigos contendo titânio, e artigos contendo titânio moldados.

25

A fabricação de componentes à base de titânio por fundição por cera perdida de titânio e suas ligas em moldes em casca por cera perdida enfrenta problemas a partir do ponto de vista que as peças fundidas devem ser fundidas "próximas à forma final". Ou seja, os componentes podem ser

fundidos substancialmente nas dimensões desejadas finais do componente, e exigem pouco ou nenhum tratamento ou usinagem. Por exemplo, algumas peças fundidas convencionais podem exigir apenas uma operação de moagem química para remover qualquer fase alfa presente na peça fundida. Entretanto, nenhuma inclusão cerâmica de sub-superfície localizada abaixo da fase alfa na peça fundida é tipicamente removida pela operação de moagem química e pode ser formada devido à reação entre o molde revestimento de face e qualquer metal reativo no molde, por exemplo, alumineto de titânio reativo.

A presente descrição fornece uma nova abordagem para fundir componentes de titânio e alumineto de titânio de forma próxima à final, como, pás de turbina ou aerofólios. As modalidades da presente descrição fornecem composições de matéria para moldes de fundição por cera perdida e métodos de fundição que fornecem componentes de titânio e liga de titânio aprimorados, por exemplo, para uso no espaço aéreo, industrial e indústria naval. Em alguns aspectos, a composição de molde proporciona um molde que contém fases que proporcionam resistência de molde aprimorada durante a fabricação de molde e/ou resistência aumentada à reação com o metal de fundição durante a fundição. Os moldes de acordo com os aspectos da descrição podem ser capazes de serem fundidos em alta pressão, isso é desejado para métodos de fundição de forma próxima à final. As composições de molde, por exemplo, contendo cimento de aluminato de cálcio e partículas de alumina, e fases constituintes preferidas, foram identificadas por fornecer peças fundidas com propriedades aprimoradas.

Em um aspecto, as fases constituintes do molde compreendem monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4). Os presentes inventores consideram o monoaluminato de cálcio desejado por pelo menos dois motivos. Primeiro, é entendido pelos inventores que o monoaluminato de cálcio promove formação de ligação hidráulica entre as partículas de cimento durante os estágios iniciais

de fabricação de molde, e acredita-se que essa ligação hidráulica forneça resistência ao molde durante a construção do molde. Segundo, é entendido pelos inventores que o monoaluminato de cálcio experimenta uma taxa muito baixa de reação com titânio e ligas à base de alumineto de titânio. Em uma determinada modalidade, o monoaluminato de cálcio é fornecido à composição de molde da presente descrição, por exemplo, os moldes em cera perdida, sob a forma de cimento de aluminato de cálcio. Em um aspecto, a composição de molde compreende uma mistura de cimento de aluminato de cálcio e alumina, ou seja, óxido de alumínio.

Em um aspecto da descrição, uma composição de molde proporciona reação mínima com a liga durante a fundição, e o molde proporciona peças fundidas com as propriedades de componente exigidas. As propriedades externas da peça fundida incluem características como formato, geometria, e acabamento de superfície. As propriedades internas da peça fundida incluem propriedades mecânicas, microestrutura, defeitos (como poros e inclusões) abaixo de um tamanho especificado e dentro dos limites permissíveis.

Em uma modalidade, o molde contém um revestimento de face intrínseco contínuo entre o volume do molde e a cavidade do molde. Em uma modalidade relacionada, o revestimento de face intrínseco possui cerca de 50 microns a cerca de 250 microns. Em alguns casos, o revestimento de face compreende de aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 microns. A composição de molde pode ser tal que o volume do molde compreende alumina e partículas maiores que cerca de 50 microns. Em uma determinada modalidade, o revestimento de face possui menos alumina que o volume do molde, e em que o revestimento de face possui mais aluminato de cálcio que o volume do molde.

A porcentagem de sólidos na mistura inicial de cimento de

aluminato de cálcio – líquido, e dos sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio – líquido é uma característica da presente descrição. Em um exemplo, a porcentagem de sólidos na mistura inicial de cimento de aluminato de cálcio – líquido é de cerca de 71% a cerca de 78 %. Em um exemplo, a porcentagem de sólidos na mistura inicial de cimento de aluminato de cálcio – líquido é de cerca de 70% a cerca de 80%. Em outro exemplo, os sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio – líquido com partículas de alumina em larga escala (>100 microns) é de cerca de 75% a cerca de 90%. O cimento de aluminato de cálcio inicial e a alumina em escala precisa (menos que 10 microns) são misturados com água para proporcionar uma pasta aquosa uniforme e homogênea; a mistura de molde final é formada ao adicionar a alumina em larga escala (mais que 100 microns) à pasta aquosa inicial e misturar durante 2 e 15 minutos para obter uma mistura uniforme.

A composição de molde de um aspecto da presente descrição proporciona fundição de baixo custo de pás de turbina de alumineto de titânio (TiAl), por exemplo, pás de turbina de baixa pressão TiAl. A composição de molde pode proporcionar a capacidade de fundir partes de forma próxima à final que exigem menos usinagem e/ou tratamento que as partes feitas utilizando moldes em casca convencionais e fundição por gravidade. Como usado aqui, a expressão “forma próxima à final” implica que a produção inicial de um artigo está próxima do formato final (final) do artigo, reduzindo a necessidade de tratamento adicional, como, usinagem extensiva e acabamento de superfície. Como usado aqui, o termo “pá de turbina” se refere a pás de turbina de vapor e pás de turbina de gás.

Consequentemente, a presente descrição aborda os desafios de produzir um molde, por exemplo, um molde em cera perdida, que não reage significativamente com titânio e ligas de alumineto de titânio. Ademais, de acordo com alguns aspectos da descrição, a resistência e estabilidade do

molde permitem abordagens de fundição de alta pressão, como fundição centrífuga. Uma das vantagens técnicas dessa descrição é que, em um aspecto, a descrição pode aumentar a integridade estrutural de fundição de forma final que pode ser gerada, por exemplo, a partir de cimento de aluminato de cálcio e moldes de alumina em cera perdida. A resistência superior, por exemplo, resistência à fadiga superior, permite que componentes mais leves sejam fabricados. Ademais, os componentes que possuem resistência à fadiga superior podem durar mais, e então possuem custos de ciclo de vida menores.

COMPOSIÇÃO DE MOLDE DE FUNDIÇÃO

Os aspectos da presente descrição proporcionam uma composição de matéria para moldes de fundição por cera perdida que podem proporcionar componentes aprimorados de titânio e ligas de titânio. Em um aspecto da presente descrição, monoaluminato de cálcio pode ser fornecido sob a forma de cimento de aluminato de cálcio. O cimento de aluminato de cálcio pode ser referido como um “cimento” ou “aglutinante”. Em algumas modalidades, o cimento de aluminato de cálcio é misturado com particulados de alumina para proporcionar uma mistura de molde em cera perdida fundível. O cimento de aluminato de cálcio pode ser maior que cerca de 30% por peso na mistura de molde fundível. Em algumas modalidades, o cimento de aluminato de cálcio consiste entre cerca de 30 % e cerca de 60 % por peso na mistura de molde fundível. O uso de mais de 30% por peso de cimento de aluminato de cálcio na mistura de molde fundível (composição de molde de fundição) é uma característica da presente descrição. A seleção da química de cimento de aluminato de cálcio adequada e formulação de alumina são fatores no desempenho do molde. Em um aspecto, uma quantidade suficiente de óxido de cálcio pode ser fornecida na composição de molde para reduzir a reação com a liga de titânio.

Em um aspecto, a composição de molde, por exemplo, a

composição de molde em cera perdida, pode compreender uma mistura de múltiplas fases de cimento de aluminato de cálcio e partículas de alumina. O cimento de aluminato de cálcio pode funcionar como um aglutinante, por exemplo, o aglutinante de cimento de aluminato de cálcio pode fornecer a

5 estrutura de armação principal da estrutura de molde. O cimento de aluminato de cálcio pode compreender uma fase contínua no molde e proporcionar resistência durante a cura, e fundição. A composição de molde pode consistir em cimento de aluminato de cálcio e alumina, ou seja, o cimento de aluminato de cálcio e alumina podem compreender substancialmente os únicos

10 componentes da composição de molde, com pouco ou nenhum outro componente. Em uma modalidade, a presente descrição compreende uma composição de molde de fundição de artigo contendo titânio que compreende aluminato de cálcio. Em outra modalidade, a composição de molde de fundição compreende adicionalmente partículas de óxido, por exemplo, partículas de

15 óxido ocas. De acordo com os aspectos da descrição, as partículas de óxido podem ser partículas de óxido de alumínio, partículas de óxido de magnésio, partículas de óxido de cálcio, partículas de óxido de zircônio, partículas de óxido de titânio, partículas de óxido de silício, combinações dessa, ou composições dessas. Em uma modalidade, as partículas de óxido podem ser

20 uma combinação de uma ou mais partículas de óxido diferentes.

A composição de molde de fundição pode incluir adicionalmente óxido de alumínio, por exemplo, sob a forma de partículas ocas, ou seja, partículas que possuem um núcleo oco ou um núcleo substancialmente oco e circundado por um óxido. Essas partículas de óxido de alumínio ocas podem

25 compreender cerca de 99 % de óxido de alumínio e possuem cerca de 10 milímetro [mm] ou menos de dimensão externa, como, largura ou diâmetro. Em uma modalidade, as partículas de óxido de alumínio ocas possuem cerca de 1 milímetro [mm] ou menos de dimensão externa, como, largura ou diâmetro. Em

outra modalidade, o óxido de alumínio compreende partículas que podem possuir dimensões externas que variam de cerca de 10 microns [μm] a cerca de 10,000 microns. Em algumas modalidades, as partículas de óxido ocas podem compreender esferas de alumina ocas (tipicamente maiores que 100 microns de diâmetro). As esferas de alumina ocas podem ser incorporadas no composição de molde de fundição, e as esferas ocas podem possuir uma faixa de geometrias, como, partículas redondas, ou agregados irregulares. Em algumas modalidades, a alumina pode incluir partículas redondas e esferas ocas. Em um aspecto, considera-se que essas geometrias aumentam a fluidez da mistura de molde em cera perdida. A fluidez aumentada pode aprimorar tipicamente o acabamento de superfície e exatidão ou precisão das características de superfície da peça fundida final produzida a partir do molde.

O óxido de alumínio compreende partículas que variam em dimensão externa de cerca de 10 microns a cerca de 10,000 microns. Em algumas modalidades, o óxido de alumínio compreende partículas que são menores que cerca de 500 microns de dimensão externa, por exemplo, diâmetro ou largura. O óxido de alumínio pode compreender de cerca de 0,5 % por peso a cerca de 80 % por peso da composição de molde de fundição. Alternativamente, o óxido de alumínio compreende de cerca de 40 % por peso a cerca de 60 % por peso da composição de molde de fundição. Alternativamente, o óxido de alumínio compreende de cerca de 40 % por peso a cerca de 68 % por peso da composição de molde de fundição.

Em uma modalidade, a composição de molde de fundição compreende ainda óxido de cálcio. O óxido de cálcio pode consistir em mais que cerca de 10% por peso e menos que cerca de 50% por peso da composição de molde de fundição. O molde final pode possuir tipicamente uma densidade menor que 2 gramas/centímetro cubico e resistência maior que 500 libras por polegada quadrada [psi]. Em uma modalidade, o óxido de cálcio

consiste em mais de 30% por peso e menos de cerca de 50% por peso da composição de molde de fundição. Alternativamente, o óxido de cálcio consiste em mais de cerca de 25% por peso e menos de cerca de 35% por peso da composição de molde de fundição.

5 Um aspecto da presente descrição é um molde para fundir um artigo contendo titânio, que compreende: um cimento de aluminato de cálcio que compreende monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maienita, em que o molde possui um revestimento de face intrínseco de cerca de 10 microns a cerca de 250 microns entre o volume do molde e a cavidade do
10 molde. Em uma modalidade, o revestimento de face é um revestimento de face intrínseco contínuo.

Em uma modalidade específica, a composição de molde de fundição da presente descrição compreende um cimento de aluminato de cálcio. O cimento de aluminato de cálcio inclui pelo menos três fases ou
15 componentes que compreendem cálcio e alumínio: monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$). A fração de peso de monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco pode ser maior que 0,60 e a fração de peso de maienita pode ser menor que 0,10, Em uma modalidade, o monoaluminato de cálcio no volume do molde
20 compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a 0,95, e o monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,1 a 0,90, Em outra modalidade, o dialuminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a cerca de 0,80, e o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,05 a 0,90, Ainda em
25 outra modalidade, maienita no volume da composição de molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,01 a cerca de 0,30, e maienita no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,001 a 0,05.

A composição exata do volume do molde e do revestimento de

face intrínseco pode se diferir. Por exemplo, o monoaluminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a 0,95, e o monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,1 a 0,90; o dialuminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a cerca de 0,80, e o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,05 a 0,90; e em que a maenita no volume da composição de molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,01 a cerca de 0,30, e maenita no revestimento de face intrínseco consiste em cerca de 0,001 a 0,05.

A fração de peso de monoaluminato de cálcio no cimento de aluminato de cálcio pode ser maior que cerca de 0,5, e a fração de peso de maenita no cimento de aluminato de cálcio pode ser menor que cerca de 0,15. Em outra modalidade, o cimento de aluminato de cálcio consiste em mais de 30% por peso da composição de molde de fundição. Em uma modalidade, o cimento de aluminato de cálcio possui um tamanho de partícula de cerca de 50 microns ou menos.

Em uma modalidade, as frações de peso dessas fases que são adequadas no cimento do volume do molde são 0,05 a 0,95 de monoaluminato de cálcio, 0,05 a 0,80 de dialuminato de cálcio, e 0,01 a 0,30 de maenita. Em uma modalidade, as frações de peso dessas fases no revestimento de face do molde são 0,1-0,90 de monoaluminato de cálcio, 0,05-0,90 de dialuminato de cálcio, e 0,001-0,05 de maenita. Em outra modalidade, a fração de peso de monoaluminato de cálcio no revestimento de face é maior que cerca de 0,6, e a fração de peso de maenita é menor que cerca de 0,1. Em uma modalidade, a fração de peso de monoaluminato de cálcio no cimento do volume do molde é maior que cerca de 0,5, e a fração de peso de maenita é menor que cerca de 0,15.

Em uma modalidade, o cimento de aluminato de cálcio possui um

tamanho de partícula de cerca de 50 microns ou menos. Um tamanho de partícula menor que 50 microns é preferido por três motivos: primeiro, acredita-se que o tamanho de partícula preciso promova a formação de ligações hidráulicas durante a mistura e cura de molde; segundo, entende-se que o tamanho de partícula preciso promove a sinterização entre partículas durante a queima, e isso pode aumentar a resistência do molde; e terceiro, acredita-se que o tamanho de partícula preciso aprimore o acabamento de superfície do artigo fundido produzido no molde. O cimento de aluminato de cálcio pode ser fornecido como um pó, e pode ser usado em sua forma de pó intrínseca, ou em uma forma aglomerada, como, aglomerados secos por atomização. O cimento de aluminato de cálcio também pode ser pré-misturado com alumina em escala precisa (por exemplo, tamanho menor que 10 microns). Acredita-se que a alumina em escala precisa proporcione um aumento na resistência devido à sinterização durante a queima em alta temperatura. Em alguns casos, a alumina em maior escala (ou seja, tamanho maior que 10 microns) também pode ser adicionada com ou sem a alumina em escala precisa.

As partículas de alumina ocas exercem pelo menos duas funções: [1] essas reduzem a densidade e o peso do molde, com redução mínima em resistência; níveis de resistência de aproximadamente 500psi e mais são obtidos, com densidades de aproximadamente 2g/cc e menos; e [2] essas reduzem o módulo elástico do molde e ajudam a proporcionar conformidade durante o resfriamento do molde e do componente após a fundição. A conformidade e britabilidade aumentadas do molde podem reduzir as resistências à tração sobre o componente.

COMPOSIÇÃO DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO

O cimento de aluminato de cálcio usado nos aspectos da descrição compreende tipicamente três fases ou componentes de cálcio e alumínio: monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7),

e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$). O mono-aluminato de cálcio é um mineral hidráulico presente no cimento de alumina de cálcio. A hidratação de monoaluminato de cálcio contribui para a alta resistência inicial do molde em cera perdida. Maienita é desejada no cimento, pois essa proporciona resistência durante os
5 estágios iniciais de cura de molde devido à rápida formação de ligações hidráulicas. A maienita é, entretanto, tipicamente removida durante o tratamento térmico do molde antes da fundição.

Em um aspecto, a formulação de cimento de aluminato de cálcio inicial não ocorre tipicamente em equilíbrio termodinâmico após a queima no
10 forno de fabricação de cimento. Entretanto, após a fabricação de molde e queima em alta temperatura, a composição de molde é voltada em uma direção a uma configuração termodinamicamente estável, e essa estabilidade é vantajosa para o processo de fundição subsequente. Em uma modalidade, a fração de peso de monoaluminato de cálcio no cimento é maior que 0,5, e a
15 fração de peso de maienita é menor que 0,15. A maienita é incorporada no molde no volume do molde e no revestimento de face, pois esse é um aluminato de cálcio de endurecimento rápido e acredita-se que proporcione o volume do molde e o revestimento de face com resistência durante os estágios iniciais de cura. A cura pode ser realizada em baixas temperaturas, por
20 exemplo, temperaturas entre 15 graus Celsius e 40 graus Celsius, pois o padrão de cera temporário é sensível à temperatura e perde sua forma e propriedades mediante a exposição térmica acima de cerca de 35 graus C. Prefere-se curar o molde em temperaturas abaixo de 30 graus C.

O cimento de aluminato de cálcio pode ser tipicamente produzido
25 ao misturar alumina de alta pureza com óxido de cálcio ou carbonato de cálcio de alta pureza; a mistura de compostos é tipicamente aquecida a uma alta temperatura, por exemplo, temperaturas entre 1000 e 1500 graus C em um forno ou fornalha e deixada reagir.

O produto resultante, conhecido na técnica como “escória” de cimento, que é produzida no forno é então esmagado, triturado, e peneirado para produzir um cimento de aluminato de cálcio do tamanho de partícula preferido. Ademais, o cimento de aluminato de cálcio é projetado e processado para possuir uma quantidade mínima de impurezas, como, quantidades mínimas de sílica, sódio e outro álcali, e óxido de ferro. Em um aspecto, o nível almejado do cimento de aluminato de cálcio é que a soma de Na_2O , SiO_2 , Fe_2O_3 , e TiO_2 seja menor que cerca de 2 por cento por peso. Em uma modalidade, a soma de Na_2O , SiO_2 , Fe_2O_3 , e TiO_2 é menor que cerca de 0,05 por cento por peso.

Em um aspecto da descrição, um cimento de aluminato de cálcio com concentrações de volume de alumina acima de 35% por peso em alumina (Al_2O_3) e menores que 65% por peso de óxido de cálcio é fornecido. Em uma modalidade relacionada, esse peso de óxido de cálcio é menor que 50%. Em um exemplo, a concentração máxima de alumina do cimento pode ser cerca de 88% (por exemplo, cerca de 12% de CaO). Em uma modalidade, o cimento de aluminato de cálcio possui alta pureza e contém até 70% de alumina. A fração de peso de monoaluminato de cálcio pode ser maximizada no molde combustado antes da fundição. Uma quantidade mínima de óxido de cálcio pode ser exigida para reduzir a reação entre a liga de fundição e o molde. Se houver mais de 50% de óxido de cálcio no cimento, isso pode resultar em fases como maienita e trialuminato de cálcio, e esses não são preparados bem como o monoaluminato de cálcio durante a fundição. A faixa preferida de óxido de cálcio é menor que cerca de 50% e maior que cerca de 10% por peso.

Como observado acima, as três fases no cimento de aluminato de cálcio/aglutinante no molde são monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$). O monoaluminato de cálcio no cimento que gera o revestimento de face possui três vantagens sobre

outras fases de aluminato de cálcio: 1) O monoaluminato de cálcio é incorporado no molde, pois esse possui uma resposta de rápido endurecimento (embora não tão rápido quanto maienita) e acredita-se que esse forneça resistência ao molde durante os estágios iniciais de cura. A rápida geração de resistência de molde proporciona estabilidade dimensional do molde de fundição, e essa característica aumenta a consistência dimensional do componente fundido final. 2) O monoaluminato de cálcio é quimicamente estável em relação ao titânio e ligas de alumineto de titânio que estão sendo fundidas. O monoaluminato de cálcio é preferido em relação ao dialuminato de cálcio, e outras fases de aluminato de cálcio com maior atividade de alumina; essas fases são mais reativas com titânio e ligas de alumineto de titânio que estão sendo fundidas. 3) O monoaluminato de cálcio e dialuminato de cálcio são fases de baixa expansão e são entendidas por impedir a formação de altos níveis de tensão no molde durante a cura, desparafinação, e fundição subsequente. O comportamento de expansão térmica de monoaluminato de cálcio é mais compatível com alumina.

O REVESTIMENTO DE FACE

Em algumas modalidades, o molde contém um revestimento de face intrínseco contínuo entre o volume de molde e a cavidade do molde. O molde é desenhado para conter fases que proporcionam resistência aumentada ao molde durante a fabricação de molde, e o revestimento de face contínuo é desenhado para proporcionar resistência aumentada à reação durante a fundição. Os moldes são capazes de se fundir em alta pressão, isso é desejado para métodos de fundição de forma final. Uma composição de molde de fundição, uma composição de revestimento de face, e fases constituintes preferidas do revestimento de face e do volume do molde, foram identificadas como fornecendo peças fundidas com propriedades aprimoradas.

O revestimento de face é definido como a região do molde

adjacente à superfície interna, ou cavidade do molde no molde. Em uma modalidade, o revestimento de face é geralmente considerado como uma região de cerca de 100 microns de espessura. Para ser mais efetiva, a revestimento de face é contínua. A região atrás do revestimento de face e distante da cavidade do molde é referida como o volume do molde.

Um aspecto da presente descrição é uma composição de revestimento de face de um molde que é usado para fundir um artigo contendo titânio, sendo que a composição de revestimento de face compreende: monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maïenita, em que a composição de revestimento de face é um revestimento de face intrínseco, possui cerca de 10 microns a cerca de 250 microns de espessura, e fica localizada entre o volume do molde e a superfície do molde que se abre para a cavidade do molde. O revestimento de face compreende, em um exemplo, de aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 microns.

O uso de um revestimento de face intrínseco possui vantagens sobre o uso de um revestimento de face extrínseco. Especificamente, revestimentos de face extrínsecos em moldes que são usados para fundição, como ítrio ou zircônio, podem se degenerar, rachar, e se dividir durante o processamento e fundição de molde, especificamente fundição em pressão superior. Os pedaços de revestimento de face que se separam do revestimento de face extrínseco podem ser arrastados na fundição quando o molde for preenchido com metal fundido, e o revestimento de face cerâmico se torna uma inclusão na parte final. A inclusão reduz o desempenho mecânico do componente que é produzido a partir da fundição.

Em uma modalidade, a presente descrição proporciona uma composição de revestimento de face intrínseco para moldes de fundição por cera perdida, e uma composição volumosa de molde, que podem proporcionar

componentes fundidos aprimorados de titânio e ligas de titânio. Em uma modalidade, o molde compreende cimento de aluminato de cálcio e partículas de alumina. Em um exemplo, o cimento de aluminato de cálcio exerce duas funções. Primeiro, o cimento gera um revestimento de face *in-situ* na cavidade do molde que é gerada pela remoção de um padrão temporário, e segundo, esse atua como um aglutinante entre as partículas de alumina no volume do molde atrás do revestimento de face. Em uma modalidade, a faixa de composição volumosa de CaO no molde é entre 10 e 50 por cento por peso. Em uma modalidade, a composição de CaO no revestimento de face é entre 20 e 40 por cento por peso. Em uma modalidade, o molde final possui uma densidade menor que 2 gramas/centímetro cúbico e uma resistência maior que 500psi.

O molde pode compreender o volume do molde e um revestimento de face intrínseco, com o volume do molde e o revestimento de face intrínseco possuindo composições diferentes, e o revestimento de face intrínseco compreende aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 microns. O molde pode compreender o volume do molde e um revestimento de face intrínseco, em que o volume do molde e o revestimento de face intrínseco possuem composições diferentes e em que o volume do molde compreende partículas de alumina maiores que cerca de 50 microns. O molde, em um exemplo, compreende o volume do molde e um revestimento de face intrínseco, em que o volume do molde compreende partículas de alumina maiores que cerca de 50 microns e o revestimento de face intrínseco compreende partículas de aluminato de cálcio menores que cerca de 50 microns de tamanho.

As abordagens de fundição de forma final conforme fornecidas na presente descrição permitem que as partes sejam examinadas com métodos não destrutivos, como raios-X, ultrassom, ou corrente parasita, em mais

detalhes e custos mais baixos. As dificuldades associadas à atenuação e dispersão da radiação de inspeção em seções de espessura excessivamente grandes são reduzidas. Defeitos menores podem ser potencialmente resolvidos, e isso pode proporcionar partes com desempenho mecânico
5 aprimorado.

A presente descrição proporciona uma composição de molde de fundição e um processo de fundição que pode proporcionar componentes aprimorados de titânio e ligas de titânio. Em uma modalidade, o molde é construído utilizando cimento de aluminato de cálcio, ou aglutinante, e
10 partículas de alumina. Em uma modalidade, o molde contém um revestimento de face intrínseco entre o volume de molde e a cavidade do molde. O tamanho das partículas no revestimento de face é tipicamente menor que 50 microns. O tamanho das partículas no volume do molde pode ser maior que 50 microns. Em uma modalidade, o tamanho das partículas no volume do molde é maior
15 que 1 mm. Em uma modalidade, o tamanho das partículas no revestimento de face é menor que 50 microns, e o tamanho das partículas no volume do molde é maior que 50 microns. Geralmente, o revestimento de face é um revestimento de face intrínseco contínuo, que permite que o mesmo seja mais eficaz.

20 O revestimento de face intrínseco pode possuir, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato de cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maenita que o volume do molde. A fração de peso de monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco pode ser maior de 0,60 e a fração de peso de maenita pode menor que 0,10. Em um exemplo, o monoaluminato de cálcio no
25 revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,1 a 0,9; o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,05 a 0,90; e a maenita no revestimento de face intrínseco

compreende uma fração de peso de 0,001 a 0,05. A fração de peso aumentada de monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco reduz a taxa de reação da liga fundida com o molde durante a fundição.

O revestimento de face intrínseco pode possuir, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais monoaluminato de cálcio que o volume do molde. O revestimento de face intrínseco pode possuir, por fração de peso, pelo menos 20 por cento menos alumina que o volume do molde. Em um exemplo, o revestimento de face intrínseco pode possuir, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato de cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maenita que o volume do molde.

Em algumas modalidades, as fases constituintes do revestimento de face, bem como as fases constituintes do volume do molde, são importantes para as propriedades da fundição. Como descrito aqui, o revestimento de face do molde proporciona uma reação mínima com a liga durante a fundição, e como resultado o molde proporciona peças fundidas com as propriedades de componente exigidas. As propriedades externas da peça fundida incluem características como formato, geometria, e acabamento de superfície. As propriedades internas da peça fundida incluem propriedades mecânicas, microestrutura, e defeitos (como poros e inclusões) abaixo de um tamanho crítico.

Em relação às fases constituintes do revestimento de face do molde e do volume do molde, monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4) é desejado por pelo menos dois motivos. Primeiro, o monoaluminato de cálcio promove a formação de ligação hidráulica entre as partículas de cimento durante os estágios iniciais de fabricação de molde, e essa ligação hidráulica proporciona resistência ao molde durante a construção de molde. Segundo, o monoaluminato de cálcio experimenta uma taxa de reação muito baixa com

titânio e ligas à base de alumineto de titânio.

Em uma modalidade, o revestimento de face compreende monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$), e alumina. Em uma modalidade, o tamanho das partículas no revestimento de face é menor que 50 microns. No revestimento de face, a combinação de monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7) é maior que 50 por cento por peso, e a concentração de alumina é menor que 50 por cento por peso. Em uma modalidade, há mais de 30 por cento por peso de monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4) no revestimento de face.

A região atrás do revestimento de face e distante da cavidade do molde é referida como o volume do molde. Nessa seção de volume do molde, em uma modalidade, a combinação de monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7) é menor que 50 por cento por peso, e a concentração de alumina no volume do molde é maior que 50 por cento por peso.

Os compostos de molde em cera perdida convencionais que consistem em sílica fundida, cristobalita, gesso, ou similares, que são usados na fundição de joias e próteses dentárias não são adequados para fundir ligas reativas, como ligas de titânio, pois ocorre uma reação entre o titânio e o molde em cera perdida. Qualquer reação entre a liga fundida e o molde irá deteriorar as propriedades da fundição final. A deterioração pode ser um acabamento de superfície tão simples quanto insatisfatório devido a bolhas de gás, ou em casos muito sérios, a química, microestrutura, e propriedades da peça fundida podem ser comprometidas.

O desafio é produzir um molde em cera perdida que não reage significativamente com titânio e ligas de alumineto de titânio. Nesse sentido, há poucos compostos de cerâmicos em cera perdida, se algum, derramados que cumprem as exigências de titânio e ligas de alumineto de titânio estruturais. Há a necessidade de um molde em cera perdida que não reaja significativamente

com titânio e ligas de alumineto de titânio. Em abordagens anteriores, para reduzir as limitações dos compostos de molde em cera perdida convencionais, vários materiais de molde adicionais foram desenvolvidos. Por exemplo, um composto em cera perdida foi desenvolvido a partir de um tipo de oxidação-expansão em que óxido de magnésio ou zircônia foi usado como um componente principal e zircônio metálico foi adicionado ao constituinte principal para compensar o encolhimento devido à solidificação do metal fundido.

Entretanto, os compostos em cera perdida da técnica anterior possuem limitações. Por exemplo, o composto de molde em cera perdida que pretende compensar o encolhimento devido à solidificação do metal fundido pela oxidação-expansão de zircônio metálico é difícil de praticar, por vários motivos. Primeiro, um padrão de cera é revestido sobre sua superfície com o novo composto em cera perdida com zircônio e então o padrão de cera revestido é embutido no composto em cera perdida convencional em uma tentativa de produzir a menor quantidade exigida possível de zircônio; revestir a cera com zircônio é muito difícil e não altamente repetitiva. Segundo, as ceras de componentes com formato complexo não podem ser revestidas de maneira suficientemente uniforme. Ademais, a camada revestida pode substituir a cera quando a mistura de molde em cera perdida for colocada externamente em torno da camada revestida e do padrão, com o resultado que o titânio reage com a mistura de molde em cera perdida externamente colocada.

O uso de um revestimento de face intrínseco possui vantagens significativas sobre o uso de um revestimento de face extrínseco. Os revestimentos de face extrínsecos que são usados na fundição de ligas de titânio são tipicamente revestimentos de face à base de ítria, ou revestimentos de face à base de zircônia. Especificamente, os revestimentos de face extrínsecos em moldes que são usados para fundição podem se degenerar, degenerar, rachar, e se dividir durante o processamento de molde (como a

remoção do padrão temporário e queima) e fundição. Os pedaços de revestimento de face que se separam do revestimento de face extrínseco podem ser arrastados na fundição quando o molde for preenchido com metal fundido, e o revestimento de face cerâmico se torna uma inclusão na parte final. A inclusão reduz o desempenho mecânico do componente que é produzido a partir da fundição.

O cimento de aluminato de cálcio é referido como um cimento ou aglutinante, e em uma modalidade, esse é misturado com particulado de alumina para formar uma mistura de molde em cera perdida fundível. O cimento de aluminato de cálcio é tipicamente >30% por peso na mistura de molde em cera perdida fundível; o uso dessa proporção de cimento de aluminato de cálcio é uma característica da presente descrição, pois esse favorece a formação de um revestimento de face intrínseco. Os requerentes descobriram que a seleção da química de cimento de aluminato de cálcio correta e a formulação de alumina são importantes para determinar o desempenho do molde. Em um exemplo, em termos do cimento de aluminato de cálcio. Os requerentes descobriram que também é necessário possuir uma quantidade particular de óxido de cálcio (CaO) para reduzir a reação com a liga de titânio.

Em uma modalidade, o revestimento de face compreende cimento de aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 microns. Em outra modalidade, o tamanho de partícula do cimento de aluminato de cálcio é menor que cerca de 10 microns. Em um exemplo, o volume do molde possui partículas maiores que 50 microns de tamanho e pode conter alumina.

O revestimento de face possui menos alumina e mais cimento de aluminato de cálcio que o volume do molde. O revestimento de face intrínseco pode possuir, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato de

cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maenita que o volume do molde. Em um exemplo, o monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,1 a 0,9; o dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,05 a 0,90; e a maenita no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,001 a 0,05. A fração de peso aumentada de monoaluminato de cálcio e dialuminato no revestimento de face intrínseco reduz a taxa de reação da liga fundida com o molde durante a fundição.

A pasta aquosa de cimento inicial é misturada para possuir uma viscosidade entre 50 e 150 centipoise. Em uma modalidade, a faixa de viscosidade é entre 80 e 120 centipoise. Se a viscosidade for muito baixa, a pasta aquosa não irá manter todos os sólidos em suspensão, e o endurecimento das partículas mais pesadas irá ocorrer e resultar em segregação durante a cura, e um revestimento de face intrínseco não será formado. Se a viscosidade for muito alta, as partículas de aluminato de cálcio não podem se dividir até o padrão temporário, e o revestimento de face intrínseco não será formado. A pasta aquosa final com o cimento de aluminato de cálcio e as partículas de alumina é misturada para possuir uma viscosidade entre aproximadamente 2000 e 8000 centipoise. Em uma modalidade, essa faixa de viscosidade de pasta aquosa final é entre 3000 e 6000 centipoise. Se a viscosidade de pasta aquosa/mistura final for muito alta, a mistura de pasta aquosa final não irá fluir em torno do padrão temporário, e a cavidade interna do molde não será adequada para fundir a parte exigida final. Se a viscosidade de mistura de pasta aquosa final for muito baixa, o endurecimento das partículas mais pesadas irá ocorrer durante a cura, e o molde não terá a composição uniforme exigida em todo o volume do molde.

O molde em cera perdida consiste em misturas de múltiplas fases

de partículas de cimento de aluminato de cálcio em escala precisa (<50 microns), partículas de alumina em escala precisa (<50 microns), e partículas de alumina em escala maior (>100 microns). O revestimento de face intrínseco não contém quaisquer partículas de alumina maiores que 50 microns. O revestimento de face intrínseco é formado devido às partículas de cimento em escala precisa na divisão de mistura por cera perdida em escala precisa em suspensão na divisão de mistura por cera perdida à base de água de preferencia no padrão temporário/cera durante a fabricação de molde, e forma uma camada de revestimento de face intrínseco que é enriquecida nas partículas em escala precisa (<50 microns), inclusive partículas de monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio e alumina. Em uma modalidade, não há partículas de alumina em larga escala (>50 microns) no revestimento de face. A viscosidade de pasta aquosa e o carregamento de sólidos são fatores que formam o revestimento de face intrínseco. A ausência de partículas em larga escala (>100 microns) no revestimento de face intrínseco aprimora o acabamento de superfície do molde e a fundição resultante. A fração de peso aumentada de monoaluminato de cálcio e dialuminato no revestimento de face intrínseco reduz a taxa de reação da liga fundida com o molde durante a fundição.

No volume do molde, o cimento de aluminato de cálcio é o aglutinante, e o aglutinante é considerado a armação da estrutura de molde atrás do revestimento de face. Essa é a fase contínua no molde e proporciona resistência durante a cura, e fundição. Em uma modalidade, o volume da composição de molde compreende partículas de cimento de aluminato de cálcio em escala precisa (<50 microns), e partículas de alumina em escala maior (>100 microns). Em outra modalidade, a composição de revestimento de face compreende cimento de aluminato de cálcio.

O cimento de aluminato de cálcio que constitui o revestimento de

face compreende pelo menos três fases; monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$). Em uma modalidade, o revestimento de face também pode conter partículas de alumina em escala precisa. Em outra modalidade, o volume do molde atrás do revestimento de face compreende monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$), e alumina. A alumina pode ser incorporada como partículas de alumina, por exemplo, partículas de alumina ocas. As partículas podem possuir uma faixa de geometrias, como partículas redondas, ou agregados irregulares. O tamanho de partícula de alumina pode ser tão pequeno quanto 10 microns e tão grande quanto 10 mm.

Em uma modalidade, a alumina consiste em partículas redondas e partículas ocas, visto que essas geometrias aumentam a fluidez da mistura de molde em cera perdida. Tipicamente, o tamanho de partícula de alumina no volume do molde é maior que 50 microns. A fluidez causa um impacto sobre a maneira na qual o cimento se divide até o padrão temporário (como uma cera) durante o derramamento e endurecimento da mistura de molde em cera perdida em torno do padrão temporário. A fluidez afeta o acabamento de superfície e a exatidão das características de superfície da peça fundida final produzida a partir do molde.

Se a viscosidade da mistura de cimento inicial for muito baixa, a pasta aquosa não irá manter todos os sólidos em suspensão, e o endurecimento das partículas mais pesadas irá ocorrer e resultar na segregação durante a cura, e um revestimento de face intrínseco não será formado. Se a viscosidade for muito alta, as partículas de aluminato de cálcio não podem se dividir até o padrão temporário, e o revestimento de face intrínseco não será formado. Se a viscosidade de mistura final for muito alta, a mistura de pasta aquosa final não irá fluir em torno do padrão temporário, o ar será aprisionado entre a mistura de pasta aquosa e o padrão, e a cavidade

interna do molde não será adequada para fundir a parte exigida final. Se a viscosidade de mistura de pasta aquosa final for muito baixa, o endurecimento das partículas mais pesadas irá ocorrer durante a cura, e o molde não terá a composição uniforme exigida em todo o volume do molde, e a qualidade da
5 peça fundida resultante será comprometida.

O particulado de cimento de aluminato de cálcio que gera o revestimento de face tipicamente possui um tamanho de partícula menor que 50 microns. Um tamanho de partícula menor que 50 microns possui várias vantagens, inclusive: primeiro, o tamanho de partícula preciso promove a
10 formação de ligações hidráulicas durante a mistura e cura de molde, segundo, o tamanho de partícula preciso pode promover a sinterização entre partículas durante a queima, e isso pode aumentar a resistência do molde, e terceiro, o tamanho de partícula preciso aprimora o acabamento de superfície do cavidade do molde. O pó de cimento de aluminato de cálcio pode ser usado em sua
15 forma intrínseca, ou em uma forma aglomerada, como aglomerados secos por atomização. O cimento de aluminato de cálcio também pode ser pré-misturados com alumina em escala precisa (<10 microns) antes da mistura com alumina em escala maior; a alumina em escala precisa pode proporcionar um aumento na resistência devido à sinterização durante a queima em alta
20 temperatura. Entretanto, se as partículas de alumina se dividirem no revestimento de face, as propriedades de peça fundida podem ser reduzidas.

Por exemplo, se as partículas de alumina se dividirem no revestimento de face, de modo que o revestimento de face intrínseco possua mais alumina que o volume do molde, a liga fundida irá reagir com a alumina
25 de maneira indesejada e gerar bolhas de gás que criam defeitos de superfície e defeitos dentro da própria peça fundida. As propriedades de peça fundida resultante, como resistência e resistência à fadiga são reduzidas. Os métodos atualmente descritos permitem a formação de um revestimento de face que

possui significativamente menos alumina no revestimento de face intrínseco do que no volume do molde.

O tratamento do revestimento de face e do molde a partir da temperatura ambiente até a temperatura de queima final também pode ser importante, especificamente o histórico térmico e o perfil de umidade. A taxa de aquecimento na temperatura de queima, e a taxa de resfriamento após a queima são muitos importantes. Se o revestimento de face e o molde forem aquecidos muito rapidamente, esses podem rachar interna ou externamente, ou ambos; o craqueamento de revestimento de face e molde antes da fundição é altamente indesejado, isso irá gerar um acabamento de superfície insatisfatório, pelo menos. Ademais, se o molde e o revestimento de face forem aquecidos muito rapidamente, o revestimento de face do molde pode rachar e se dividir; isso pode resultar em inclusões indesejadas na peça fundida final no pior caso, e um acabamento de superfície insatisfatório, mesmo que não haja inclusões. Se o revestimento de face e o molde forem resfriados muito rapidamente após atingir a temperatura máxima de queima de molde, o revestimento de face ou o volume do molde também pode rachar interna ou externamente, ou ambos.

O carregamento de sólidos da mistura de cimento inicial e o carregamento de sólidos da mistura de molde final possuem efeitos importantes sobre a estrutura de molde e a capacidade de formar um revestimento de face intrínseco dentro do molde, como será descrito nos parágrafos seguintes. A porcentagem de carregamento de sólidos é definida como o total de sólidos na mistura dividida pela massa total do líquido e sólidos na mistura, descrita como uma porcentagem. Em uma modalidade, a porcentagem de sólidos na mistura inicial de cimento de aluminato de cálcio-líquido é cerca de 71 por cento a 78 por cento.

Se o carregamento de sólidos na pasta aquosa inicial de cimento

for menor que cerca de 70 por cento, então as partículas de cimento não permanecem em suspensão e durante a cura do molde as partículas de cimento irá se separar da água e a composição não será uniforme ao longo do molde. Em contrapartida, se o carregamento de sólidos for muito alto no cimento (por exemplo, maior que cerca de 78 por cento), a viscosidade da mistura final com a alumina em larga escala será muito alta (por exemplo maior que cerca de 85%, dependendo da quantidade, tamanho, e morfologia das partículas de alumina em larga escala que são adicionadas), e as partículas de cimento na mistura não serão capazes de se dividirem no padrão temporário dentro do molde, e o revestimento de face intrínseco não será formado.

Em uma modalidade, a porcentagem de sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio - líquido com as partículas de alumina em larga escala (que significa maiores que cerca de 50 microns em uma modalidade, e maiores que cerca de 100 microns em outra modalidade) é cerca de 75 por cento a cerca de 90 por cento. Em uma modalidade, a porcentagem de sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio - líquido com as partículas de alumina em larga escala é cerca de 78 por cento a cerca de 88 por cento. Em outra modalidade, a porcentagem de sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio-líquido com as partículas de alumina em larga escala é cerca de 78 por cento a cerca de 84 por cento. Em uma modalidade particular, a porcentagem de sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio-líquido com as partículas de alumina em larga escala é cerca de 80 por cento.

OS MÉTODOS DE MOLDE E FUNDIÇÃO

Um molde em cera perdida é formado ao formular a mistura por cera perdida dos componentes cerâmicos, e derramar a mistura em um recipiente que contém um padrão temporário. O molde em cera perdida formado no padrão é deixado curar completamente para formar um

denominado “molde cru”. O revestimento de face intrínseco e o molde em cera perdida são formados no padrão e esses são deixados curar completamente para formar esse molde cru. Tipicamente, a cura do molde cru é realizada durante períodos de 1 hora a 48 horas. Subsequentemente, o padrão temporário é seletivamente removido do molde cru por fusão, dissolução, ignição, ou outra técnica de remoção de padrão conhecida. Os métodos típicos de remoção de padrão de cera incluem a desparafinação em forno (menos que 150 graus C), desparafinação em fornalha (mais que 150 graus C), desparafinação em autoclave a vapor, e desparafinação em micro-ondas.

Para fundir ligas de titânio, e alumineto de titânio e suas ligas, o molde cru então é combustado a uma temperatura acima de 600 graus C, por exemplo, 600 a 1400 graus C, durante um período de tempo de mais de 1 hora, de preferência, 2 a 10 horas, para desenvolver a resistência do molde para fundição e remover quaisquer impurezas residuais indesejadas no molde, como espécies metálicas (Fe, Ni, Cr), e espécies contendo carbono. Em um exemplo, a temperatura de queima é pelo menos 950 graus C. A atmosfera de queima do molde é tipicamente ar ambiente, embora gás inerte ou uma atmosfera de gases redutores possa ser usada.

O processo de queima também remove a água do molde e converte maienita em aluminato de cálcio. Outro propósito do procedimento de queima de molde é reduzir qualquer sílica livre que permaneça no revestimento de face e no molde antes da fundição. Outros propósitos são aumentar a resistência à alta temperatura, e aumentar a quantidade de monoaluminato de cálcio e dialuminato de cálcio.

O molde é aquecido a partir da temperatura ambiente até a temperatura de queima final, especificamente o histórico térmico é controlado. A taxa de aquecimento na temperatura de queima, e a taxa de resfriamento após a queima são tipicamente reguladas ou controladas. Se o molde for

aquecido muito rapidamente, esse pode rachar interna ou externamente, ou ambos; o craqueamento do molde antes da fundição é altamente indesejado. Ademais, se o molde for aquecido muito rapidamente, a superfície interna do molde pode rachar e se dividir. Isso pode resultar em inclusões indesejadas na
5 peça fundida final, e em um acabamento de superfície insatisfatório, mesmo que não haja inclusões. Similarmente, se o molde for resfriado muito rapidamente após atingir a temperatura máxima, o molde também pode rachar interna ou externamente, ou ambos.

A composição de molde descrita na presente descrição é particularmente adequada para titânio e ligas de alumineto de titânio. O revestimento de face e o volume da composição de molde após a queima e antes da fundição podem influenciar as propriedades de molde, particularmente em relação às fases constituintes. Em uma modalidade, para propósitos de fundição, prefere-se uma alta fração de peso de monoaluminato de cálcio no
10 molde, por exemplo, uma fração de peso de 0,15 a 0,8. Ademais, para propósitos de fundição, deseja-se minimizar a fração de peso de maienita, por exemplo, utilizando uma fração de peso de 0,01 a 0,2, devido ao fato de maienita ser sensível à água e poder causar problemas com a liberação de água e geração de gás durante a fundição. Após a queima, o molde também
15 pode conter pequenas frações de peso de aluminossilicatos e aluminossilicatos de cálcio. A soma da fração de peso de aluminossilicatos e aluminossilicatos de cálcio pode ser tipicamente mantida abaixo de 5% no volume do molde e abaixo de 0,5% no revestimento de face, para reduzir a reação do molde com a peça fundida.

25 Um aspecto da presente descrição é um método para formar um molde de fundição para fundir um artigo contendo titânio, sendo que o método compreende: combinar aluminato de cálcio com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, em que a porcentagem de sólidos na

mistura inicial de aluminato de cálcio / líquido é cerca de 70% a cerca de 80% e a viscosidade da pasta aquosa é cerca de 50 a cerca de 150 centipoise; adicionar as partículas de óxido na pasta aquosa de modo que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio / líquido com as partículas de óxido em
5 larga escala (maiores que 50 microns) sejam cerca de 75% a cerca de 90%; introduzir a pasta aquosa em uma cavidade do molde que contém um padrão temporário; e permitir que a pasta aquosa seja curada na cavidade do molde para formar um molde de um artigo contendo titânio.

Em algumas modalidades, a composição de molde de fundição
10 da presente descrição compreende uma composição de molde de fundição por cera perdida. A composição de molde de fundição por cera perdida compreende uma forma próxima à final, metal contendo titânio, composição de molde de fundição por cera perdida. Em uma modalidade, a composição de molde de fundição por cera perdida compreende uma composição de molde de
15 fundição por cera perdida para fundir artigos de alumineto de titânio de forma próxima à final. Os artigos de alumineto de titânio de forma próxima à final compreendem, por exemplo, pás de turbina de alumineto de titânio de forma próxima à final.

A seleção da química correta de cimento de aluminato de cálcio e
20 formulação de alumina são fatores no desempenho do molde durante a fundição. Em termos do cimento de aluminato de cálcio, pode ser necessário reduzir a quantidade de óxido de cálcio livre para reduzir a reação com a liga de titânio. Se a concentração de óxido de cálcio no cimento for menor que cerca de 10% por peso, as ligas reagem com o molde, pois a concentração de
25 alumina é muito alta, e a reação gera níveis de concentração de oxigênio indesejados na peça fundida, bolhas de gás, e um acabamento de superfície insatisfatório no componente fundido. A alumina livre é menos desejada no material de molde, pois essa pode reagir agressivamente com titânio e ligas de

alumineto de titânio.

Se a concentração de óxido de cálcio no cimento for maior que 50% por peso, o molde pode ser sensível ao acúmulo de água e dióxido de carbono do ambiente. Com isso, a concentração de óxido de cálcio no molde em cera perdida pode ser tipicamente mantida abaixo de 50%. Em uma modalidade, a concentração de óxido de cálcio no volume do molde em cera perdida é entre 10 % e 50 % por peso. Em uma modalidade, a concentração de óxido de cálcio no volume do molde em cera perdida é entre 10% e 40% por peso. Alternativamente, a concentração de óxido de cálcio no volume do molde em cera perdida pode estar entre 25% e 35% por peso. Em uma modalidade, a composição de CaO no revestimento de face é entre 20 e 40 por cento por peso. Em outra modalidade, a concentração de óxido de cálcio no revestimento de face do molde é entre 15% e 30% por peso.

O dióxido de carbono pode resultar na formação de carbonato de cálcio no molde durante o processamento e antes da fundição, e o carbonato de cálcio é instável durante a operação de fundição. Assim, a água e dióxido de carbono no molde podem resultar em qualidade de fundição insatisfatória. Se o nível de água adsorvida for muito alto, por exemplo, maior que 0,05 por cento por peso, quando o metal fundido entrar no molde durante a fundição, a água é liberada e pode reagir com a liga. Isso resulta em acabamento de superfície insatisfatório, bolhas de gás na peça fundida, alta concentração de oxigênio, e propriedades mecânicas insatisfatórias. Ademais, a quantidade de água pode fazer com que o molde seja incompletamente preenchido. Similarmente, se o nível de dióxido de carbono for muito alto, carbonato de cálcio pode se formar no molde e quando o metal fundido entrar no molde durante a fundição, o carbonato de cálcio pode se decompor gerando dióxido de carbono, que pode reagir com a liga; se grandes quantidades de dióxido de carbono forem liberadas, o gás pode fazer com que o molde seja incompletamente

preenchido. O carbonato de cálcio resultante consiste em menos que 1 por cento por peso no molde.

Antes de fundir um metal fundido ou liga, o molde em cera perdida é tipicamente pré-aquecido a uma temperatura de fundição de molde que é dependente da geometria de componente particular ou liga que será fundida. Por exemplo, uma temperatura de pré-aquecimento típica é 600 graus C. Tipicamente, a faixa de temperatura de molde é 450 graus C a 1200 graus C; a faixa de temperatura preferida é 450 graus C a 750 graus C, e em alguns casos 500 graus C a 650 graus C.

De acordo com um aspecto, o metal fundido ou liga é derramado no molde utilizando técnicas convencionais que podem incluir fundição por gravidade, contragravidade, pressão, centrífuga, e outras técnicas de fundição conhecidas pelos elementos versados na técnica. Vácuo ou uma atmosfera de gás inerte pode ser usado. Para geometrias de parede fina com formato complexo, as técnicas que usam alta pressão são preferidas. Após a peça fundida de alumineto de titânio solidificado ou liga ser resfriada tipicamente a menos de 650 graus, por exemplo, em temperatura ambiente, essa é removida do molde e acabada utilizando técnicas convencionais, como, jateamento abrasivo, e polimento.

Um aspecto da presente descrição é um método de fundição de titânio e ligas de titânio que compreende: obter uma composição de molde de fundição por cera fundida que compreende aluminato de cálcio e óxido de alumínio, em que o aluminato de cálcio é combinado com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, e em que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio / líquido com a alumina em larga escala consistem em cerca de 75% a cerca de 90%, e em que o molde resultante possui um revestimento de face intrínseco; derramar a composição de molde de fundição por cera perdida em um recipiente contendo um padrão

temporário; curar a composição de molde de fundição por cera perdida; remover o padrão temporário do molde; queimar o molde; pré-aquecer o molde a uma temperatura de fundição de molde; derramar o titânio fundido ou liga de titânio no molde aquecido; solidificar o titânio fundido ou liga de titânio e formar uma peça fundida de titânio ou liga de titânio solidificada; e remover a peça fundida de titânio ou liga de titânio solidificada do molde. Em uma modalidade, um artigo de titânio ou liga de titânio reivindicado é produzido pelo método de fundição como ensinado aqui.

Um aspecto da presente descrição se refere a um método de fundição de titânio e ligas de titânio que compreende: obter uma composição de molde de fundição por cera perdida que compreende aluminato de cálcio e óxido de alumínio; derramar a composição de molde de fundição por cera perdida em um recipiente contendo um padrão temporário; curar a composição de molde de fundição por cera perdida; remover o padrão temporário do molde; queimar o molde; pré-aquecer o molde a uma temperatura de fundição de molde; derramar titânio fundido ou liga de titânio no molde aquecido; solidificar o titânio fundido ou liga de titânio; e remover o titânio solidificado ou liga de titânio do molde.

Entre remover o padrão temporário do molde e pré-aquecer o molde a uma temperatura de fundição de molde, o molde é primeiramente aquecido, ou combustado, a uma temperatura de cerca de 600 graus C a cerca de 1400 graus C, por exemplo, cerca de 950 graus C ou mais, e então resfriado em temperatura ambiente. Em uma modalidade, a etapa de cura é conduzida em temperaturas abaixo de cerca de 30 graus C durante uma hora a 48 horas. A remoção do padrão temporário inclui a etapa de fusão, dissolução, ignição, desparafinação em forno, desparafinação em fornalha, desparafinação em autoclave a vapor ou desparafinação em micro-ondas. Em uma modalidade, após a remoção do titânio ou liga de titânio do molde, a peça fundida pode ser

acabada com jateamento abrasivo ou polimento. Em uma modalidade, após a peça fundida solidificada ser removida do molde, essa é analisada por radiografia com raios X ou nêutrons.

A peça fundida solidificada é submetida à inspeção de superfície e radiografia com raios X após a fundição e acabamento para detectar quaisquer partículas de inclusão sub-superfície em qualquer local dentro da peça fundida. A radiografia com raios X é empregada para encontrar inclusões que não são detectáveis por inspeção visual da superfície externa da peça fundida. A peça fundida de alumineto de titânio é submetida à radiografia com raios X (filme ou digital) utilizando um equipamento de raios X convencional para fornecer uma radiografia com raios X que é então examinada ou analisada para determinar se quaisquer inclusões sub-superfície estão presentes dentro da peça fundida de alumineto de titânio.

Alternativamente ou além da radiografia com raios X, a peça fundida solidificada pode ser submetida a outro teste não destrutivo, por exemplo, radiografia com raios de nêutrons convencional. As composições de molde descritas fornecem uma pequena quantidade de um material que possui um corte transversal de alta absorção de nêutrons. Em um aspecto, uma radiografia com nêutrons é preparada a partir do artigo fundido. Visto que o artigo fundido de liga de titânio pode ser substancialmente transparente a nêutrons, o material de molde irá se apresentar tipicamente de forma distinta na radiografia com nêutrons resultante. Em um aspecto, acredita-se que a exposição a nêutrons resulte em "ativação de nêutrons" do elemento radiograficamente denso. A ativação de nêutrons envolve a interação da radiação com nêutrons com o elemento radiograficamente denso da peça fundida para realizar a formação de isótopos radioativos dos elementos radiograficamente densos da composição de molde. Os isótopos radioativos podem ser então detectáveis por dispositivos de detecção radioativa

convencionais para contar quaisquer isótopos de elemento radiograficamente denso presentes no artigo fundido.

Outro aspecto da presente descrição é um método para formar um molde de fundição para fundir um artigo contendo titânio. O método inclui:

5 combinar aluminato de cálcio com um líquido, como água, para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio no líquido; introduzir a pasta aquosa em um recipiente que contém um padrão temporário; e deixar que a pasta aquosa seja curada na cavidade do molde para formar um molde de um artigo contendo titânio. Em uma modalidade, o método compreende adicionalmente,

10 antes de introduzir a pasta aquosa em uma cavidade do molde, introduzir partículas de óxido, por exemplo, partículas de óxido ocas, na pasta aquosa.

O molde formado pode ser um molde cru, e o método pode compreender adicionalmente queimar o molde cru. Em uma modalidade, o molde de fundição compreende um molde de fundição por cera perdida, por

15 exemplo, para fundir um artigo contendo titânio. Em uma modalidade, o artigo contendo titânio compreende um artigo de alumineto de titânio. Em uma modalidade, a composição de molde de fundição por cera perdida compreende uma composição de molde de fundição por cera perdida para fundir artigos de alumineto de titânio de forma próxima à final. Os artigos de alumineto de titânio

20 de forma próxima à final podem compreender pás de turbina de alumineto de titânio de forma próxima à final. Em uma modalidade, a descrição se refere a um molde formado a partir de uma composição de molde de fundição de artigo contendo titânio, como ensinado aqui. Outro aspecto da presente descrição se refere a um artigo formado no molde anteriormente mencionado.

25 Ainda outro aspecto da presente descrição é uma peça fundida de titânio ou liga de titânio feita por um método de fundição que compreende: obter uma composição de molde de fundição por cera perdida que compreende aluminato de cálcio e óxido de alumínio; derramar a composição de molde de

fundição por cera perdida em um recipiente contendo um padrão temporário; curar a composição de molde de fundição por cera perdida; remover o padrão temporário do molde; queimar o molde; pré-aquecer o molde a uma temperatura de fundição de molde; derramar o titânio fundido ou liga de titânio no molde aquecido; solidificar o titânio fundido ou liga de titânio para formar a peça fundida; e remover uma peça fundida de titânio solidificado ou liga de titânio do molde. Em uma modalidade, a presente descrição se refere a um artigo de titânio ou liga de titânio feito pelos métodos de fundição ensinados nesse pedido.

A aspereza de superfície é um índice importante que representa a integridade de superfície de partes fundidas e usinadas. A aspereza de superfície é caracterizada pelo valor de aspereza médio de linha central “Ra”, bem como a distância média pico a vale “Rz” em uma área designada como medido por perfilometria óptica. Um valor de aspereza pode ser calculado em um perfil ou em uma superfície. O parâmetro de aspereza de perfil (R_a , R_q ,...) é mais comum. Cada parâmetro de aspereza é calculado utilizando uma fórmula para descrever a superfície. Há muitos parâmetros de aspereza diferentes em uso, porém R_a é muito mais comum. Conforme conhecido na técnica, a aspereza de superfície está correlacionada com o desgaste de ferramenta. Tipicamente, o processo de acabamento de superfície apesar de moagem e afiamento produz superfícies com R_a em uma faixa de 0,1 mm a 1.6 mm. O valor de aspereza de superfície R_a do revestimento final depende da função desejada do revestimento ou artigo revestido.

A aspereza média, R_a , é expressa em unidades de altura. No sistema Imperial (Inglês), 1 R_a é tipicamente expresso em “milionésimos” de uma polegada. Isso também é referido como “micropolegadas”. Os valores R_a indicados aqui se referem a micropolegadas. Um valor R_a de 70 corresponde a aproximadamente 2 microns; e um valor R_a de 35 corresponde a

aproximadamente 1 micron. É tipicamente exigido que a superfície de artigos de alto desempenho, como pás de turbina, lâminas/bocais de turbina, turbocompressores, válvulas de motor alternadas, pistões, e similares, possua um Ra de cerca de 20 ou menos. Um aspecto da presente descrição é uma pá de turbina que compreende titânio ou liga de titânio e possui uma aspereza média, Ra, de menos de 20 sobre pelo menos uma porção de sua área de superfície.

À medida que os metais fundidos são cada vez mais aquecidos, esses tendem a se tornar cada vez mais reativos (*por exemplo*, submetidos a reações indesejadas com a superfície de molde). Essas reações resultam na formação de impurezas que contaminam as partes de metal, isso resulta em várias consequências prejudiciais. A presença de impurezas muda a composição do metal de tal modo que essa não pode cumprir o padrão desejado, proibindo desse modo o uso da peça fundida para a aplicação pretendida. Ademais, a presença das impurezas pode afetar negativamente as propriedades mecânicas do material metálico (*por exemplo*, reduzindo a resistência do material).

Ademais, essas reações podem resultar em texturização de superfície, que resulta em aspereza substancial, indesejada sobre a superfície da peça fundida. Por exemplo, utilizando-se o valor de aspereza de superfície Ra, como conhecido na técnica para caracterizar a aspereza de superfície, as peças fundidas que utilizam ligas de aço inoxidável e/ou ligas de titânio exibem tipicamente um valor Ra entre cerca de 100 e 200 sob condições de trabalho satisfatórias. Esses efeitos prejudiciais levam à utilização de temperaturas mais baixas para preencher os moldes. Entretanto, se a temperatura do metal fundido não estiver suficientemente quente, o material de fundição pode se resfriar muito rapidamente, resultando em preenchimento incompleto do molde fundido.

Um aspecto da presente descrição se refere a uma composição de molde para fundir um artigo contendo titânio, que compreende aluminato de cálcio. A composição de molde compreende ainda partículas de alumina ocas. O artigo compreende um artigo metálico. Em uma modalidade, o artigo
5 compreende um artigo contendo alumineto de titânio. Em outra modalidade, o artigo compreende uma pá de turbina de alumineto de titânio. Ainda em outra modalidade, o artigo compreende uma pá de turbina de alumineto de titânio de forma próxima à final. Essa pá de turbina de alumineto de titânio de forma próxima à final pode exigir pouca ou nenhuma remoção de material antes da
10 instalação.

EXEMPLOS

A descrição que foi descrita de modo geral pode ser mais facilmente entendida a título de referência aos seguintes exemplos, que estão incluídos meramente para propósitos de ilustração de determinados aspectos e
15 modalidades da presente descrição, e não pretendem limitar a descrição de forma alguma.

A Figura 1a e 1b mostram um exemplo da microestrutura de molde após a queima de alta temperatura. As imagens de microscópio eletrônico de varredura de formação de imagens eletrônicas de difusão retrógrada do corte transversal do molde combustado a 1000 graus Celsius são mostradas, em que a Figura 1a indica as partículas de alumina 210 presentes, o revestimento de face de molde 212, o volume do molde 214, e a superfície
20 interna do molde 216 que se abre na cavidade do molde. A Figura 1b indica o cimento de aluminato de cálcio 220. O cimento de aluminato de cálcio em escala precisa 220 fornece a estrutura de armação do molde. Em um exemplo, o cimento de aluminato de cálcio compreende monoaluminato de cálcio e dialuminato de cálcio.
25

A Figura 2a e Figura 2b mostram um exemplo da microestrutura

de molde após a queima de alta temperatura. As imagens de microscópio eletrônico de varredura de formação de imagens eletrônicas de difusão retrógrada do corte transversal do molde combustado a 1000 graus Celsius são mostradas, em que a Figura 2a indica o cimento de aluminato de cálcio 310 presente como parte da microestrutura de revestimento de face. A Figura 2b indica uma partícula de alumina 320 e mostra a superfície interna de molde/cavidade do molde 322 bem como a região de revestimento de face intrínseco 324.

As Figuras 3 e 4 mostram dois exemplos da microestrutura de molde após a queima de alta temperatura, mostra alumina 510 (na Figura 3) 610 (na Figura 4), e monoaluminato de cálcio 520 (na Figura 3) 620 (na Figura 4), em que o molde em um exemplo é combustado para reduzir o teor de maienita.

COMPOSIÇÃO E FORMULAÇÃO DE MOLDE EM CERA PERDIDA

Um cimento de aluminato de cálcio foi misturado com alumina para gerar uma mistura de molde em cera perdida, e uma faixa de químicas de molde em cera perdida foi testada. A mistura por cera perdida em um exemplo consiste em cimento de aluminato de cálcio com 70% de alumina e 30% de óxido de cálcio, partículas de alumina, água, e sílica coloidal.

Como mostrado na Figura 5a, o método compreende combinar aluminato de cálcio com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio no líquido 705. A porcentagem de sólidos na mistura inicial de aluminato de cálcio/líquido é cerca de 70% a cerca de 80% e a viscosidade da pasta aquosa é cerca de 50 a cerca de 150 centipoise. Em uma modalidade, as partículas de óxido são adicionadas na pasta aquosa 707 de modo que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio/líquido com as partículas de óxido em larga escala (maiores que 50 microns) seja cerca de 75% a cerca de 90%. A pasta aquosa de aluminato de cálcio é introduzida em uma cavidade do

molde que contém um padrão temporário 710. A pasta aquosa é deixada curar na cavidade do molde para formar um molde de um artigo de titânio ou contendo titânio 715.

Em outro exemplo, mostrado na Figura 5b, o método compreende
5 obter uma composição de molde de fundição por cera perdida que compreende aluminato de cálcio e óxido de alumínio 725. Em um exemplo, o aluminato de cálcio é combinado com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, em que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio/líquido com uma alumina em larga escala consistem em cerca de 75% a
10 cerca de 90%. A composição de molde de fundição por cera perdida é derramada em um recipiente contendo um padrão temporário 730. O molde de fundição por cera perdida é curado proporcionando assim a composição de molde de fundição 735. O padrão temporário é removido do molde 740, e o molde é combustado. O molde é pré-aquecido a uma temperatura de fundição
15 de molde 745, e o titânio fundido ou liga de titânio é derramado no molde aquecido 750. O titânio fundido ou liga de titânio é solidificado e forma uma peça fundida de titânio solidificado ou liga de titânio 755. Por fim, a peça fundida de titânio solidificado ou liga de titânio é removida do molde 760.

Em um primeiro exemplo, uma mistura típica de pasta aquosa de
20 cimento para fabricar um molde em cera perdida consiste em 3000 gramas [g] do cimento de aluminato de cálcio, (que compreende aproximadamente 10% por peso de maienita, aproximadamente 70% por peso de monoaluminato de cálcio, e aproximadamente 20% por peso de dialuminato de cálcio), 1500 g de partículas de alumina calcinadas com um tamanho menor que 10 microns,
25 2450g de partículas de alumina de alta pureza de uma faixa de tamanho de 0,5 mm a 1,0 mm de diâmetro, 1650g de água deionizada, e 150g de sílica coloidal. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 80 por cento, quando o carregamento de sólidos for definido como o total de sólidos na

mistura normalizada em relação à massa total do líquido e sólidos na mistura, expresso como uma porcentagem.

O carregamento de sólidos da mistura inicial de pasta aquosa de cimento com todos os componentes e sem as partículas de alumina em larga escala é 72 por cento. O molde formou um revestimento de face intrínseco com uma espessura de aproximadamente 100 microns. Essa formulação produz um molde que possui aproximadamente 120 mm de diâmetro e 400 mm de comprimento. A formulação de molde foi desenhada de modo que haja menos de 1 por cento de contração linear do revestimento de face do molde, e do volume do molde, mediante a queima. O molde que foi produzido possui uma densidade de menos de 2 gramas por centímetro cúbico.

Os tipos de partículas de alumina calcinada de alta pureza típicos incluem alumina fundida, tabular, e levigada. As sílicas coloidais adequadas típicas incluem Remet LP30, Remet SP30, Nalco 1030, Ludox. O molde produzido foi usado para fundir artigos contendo alumineto de titânio como pás de turbina com um acabamento de superfície satisfatório. O valor de aspereza (Ra) é menor que 100 micropolegadas, e com um teor de oxigênio menor que 2000 partes por milhão [ppm]. Essa formulação produz um molde que possui aproximadamente 120mm de diâmetro e 400mm de comprimento. Essa formulação produz um molde que possui uma densidade menor que 2 gramas por centímetro cúbico.

O molde possui um revestimento de face intrínseco que consiste em fases de aluminato de cálcio, e a espessura de revestimento de face é aproximadamente 100 microns. O molde que foi então produzido foi usado de maneira bem sucedida para fundir as pás de turbina de alumineto de titânio com um acabamento de superfície satisfatório; por exemplo, onde Ra é menor que 100, e com um teor de oxigênio menor que 2000ppm. Essa formulação produz um molde que possui uma densidade menor que 2 gramas por

centímetro cúbico.

A mistura de molde foi preparada ao misturar o cimento de aluminato de cálcio, água, e sílica coloidal em um recipiente. Uma mistura de forma de alto cisalhamento foi usada. Se não for totalmente misturado, o cimento pode se gelificar, e a fluidez é reduzida de modo que a mistura de 5 molde não cubra o padrão temporário uniformemente, e o revestimento de face intrínseco não seja gerado. Quando o cimento estiver em suspenso total na mistura, as partículas de alumina são adicionadas. Quando o cimento estiver em suspensão total na mistura, as partículas de alumina em escala precisa são 10 adicionadas. Quando as partículas de alumina em escala precisa forem completamente misturadas com o cimento, as partículas de alumina de tamanho maior (por exemplo, 0,5-1,0 mm) são adicionadas e misturadas com a formulação de cimento-alumina. A viscosidade da mistura final é outro fator para a formação de um revestimento de face contínuo de alta qualidade, visto 15 que essa não deve ser muito baixa nem muito alta. Outro fator importante da presente descrição é o carregamento de sólidos da mistura de cimento e a quantidade de água. Ademais, aceleradores, e retardadores podem ser usados em pontos selecionados durante as etapas de processo de fabricação de molde.

20 Após a mistura, a mistura em cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário. O recipiente proporciona a geometria externa do molde, e o padrão temporário gera a geometria interna. A velocidade de derramamento correta é uma característica adicional, se for muito rápida o ar pode ser aprisionado no molde, 25 se for muito lenta a separação do cimento e do particulado de alumina pode ocorrer. A velocidade de derramamento adequada varia de cerca de 1 a cerca de 20 litros por minuto. Em uma modalidade, a velocidade de derramamento é cerca de 2 a cerca de 6 litros por minuto. Em uma modalidade específica, a

velocidade de derramamento é cerca de 4 litros por minuto.

Em um segundo exemplo, uma mistura de pasta aquosa para fabricar um molde em cera perdida consiste em 3000 g do cimento de aluminato de cálcio, (que compreende aproximadamente 10% por peso de maienita, aproximadamente 70% por peso de monoaluminato de cálcio, e aproximadamente 20% por peso de dialuminato de cálcio), 1500 g de partículas de alumina calcinadas com um tamanho menor que 10 microns, 2650g de partículas ocas de alumina de alta pureza de uma faixa de tamanho de 0,5-1mm de diâmetro, 1650g de água deionizada, e 150g de sílica coloidal. Após a mistura, a mistura por cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. O carregamento de sólidos da mistura inicial de pasta aquosa de cimento com todos os componentes sem as partículas de alumina em larga escala é 72 por cento. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 80,3%; esse é ligeiramente maior que o valor correspondente no primeiro exemplo. A fração de peso de cimento de aluminato de cálcio é 42%, e aquela da alumina é 58%. Essa formulação produz um molde que possui aproximadamente 120mm de diâmetro e 400mm de comprimento.

O molde com o revestimento de face intrínseco foi então curado e combustado em alta temperatura. O molde com o revestimento de face intrínseco que foi então produzido foi usado de maneira bem sucedida para fundir as pás de turbina de alumineto de titânio com um acabamento de superfície satisfatório; Ra é menor que 100, e com um teor de oxigênio menor que 2000ppm. Essa formulação produz um molde que possui uma densidade menor que 1,8 grama por centímetro cúbico. O molde possui um revestimento de face intrínseco que compreende fases de aluminato de cálcio. O molde forma um revestimento de face intrínseco com uma espessura de aproximadamente 100 microns. A formulação de molde foi desenhada de modo

que haja menos de 1 por cento de contração linear do revestimento de face do molde, e do volume do molde, mediante a queima. As partículas ocas e leves de alumina fundida incorporadas na mistura geram baixa condutividade térmica.

5 As partículas ocas de alumina proporcionam um molde com uma densidade reduzida e condutividade térmica inferior (a condutividade térmica é mostrada no gráfico em anexo na Figura 6). Há 35 por cento por peso de partículas de alumina ocas no molde. Essa formulação produz um molde que possui aproximadamente 120mm de diâmetro e 400 mm de comprimento. O
10 molde foi então curado e combustado em alta temperatura. O molde produzido foi usado para fundir artigos contendo alumineto de titânio, como pás de turbina, com um acabamento de superfície satisfatório. O valor de aspereza (Ra) é menor que 100, e com um teor de oxigênio menor que 2000 ppm. Essa formulação produz um molde que possui uma densidade menor que 1,8 grama
15 por centímetro cúbico. A condutividade térmica do volume do molde é comparada com aquela de alumina na Figura 6, como uma função de temperatura a partir da temperatura ambiente a 1000°C. A condutividade térmica do volume do molde é substancialmente menor que aquela de alumina em todas as temperaturas. A condutividade térmica foi medida utilizando uma
20 técnica de termômetro de resistência de platina de fio quente (teste ASTM C-1113).

-----Em um terceiro exemplo, uma mistura de pasta aquosa para fabricar um molde em cera perdida consiste em 600 g do cimento de aluminato de cálcio, (que consiste em aproximadamente 10% por peso de maienita,
25 aproximadamente 70% por peso de monoaluminato de cálcio, e aproximadamente 20% por peso de dialuminato de cálcio), 300 g de partículas de alumina calcinadas com um tamanho menor que 10 microns, 490g de partículas ocas de alumina de alta pureza de uma faixa de tamanho de 0,5-

1mm de diâmetro, 305g de água deionizada, e 31 g de sílica coloidal Remet LP30. Após a mistura, a mistura por cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. Essa formulação produz um molde menor para
5 um componente menor que possui aproximadamente 120mm de diâmetro e 150mm de comprimento. O molde foi então curado e combustado em alta temperatura. O molde que foi então produzido foi usado para fundir de maneira bem sucedida as pás de turbina de alumineto de titânio com um acabamento de superfície satisfatório; Ra é menor que 100, e com um teor de oxigênio
10 menor que 1600ppm.

O carregamento de sólidos da mistura inicial de pasta aquosa de cimento com todos os componentes sem as partículas de alumina em larga escala é 65 por cento. Esse carregamento de sólidos está abaixo do limite ideal para fabricar uma pasta aquosa de cimento que pode formar um revestimento
15 de face no molde. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 77%; esse é ligeiramente menor que a faixa preferida para produzir moldes.

Em um quarto exemplo, uma mistura de pasta aquosa para fabricar um molde em cera perdida consiste em 2708 g de um cimento de aluminato de cálcio, (que compreende aproximadamente 10% por peso de maenita, aproximadamente 70% por peso de monoaluminato de cálcio, e
20 aproximadamente 20% por peso de dialuminato de cálcio), 1472g de partículas ocas de alumina de alta pureza de uma faixa de tamanho de 0,5-1mm de diâmetro, 1061g de água deionizada, e 96g de sílica coloidal Remet LP30. Após a mistura, a mistura de molde em cera perdida foi derramada de maneira
25 controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. O carregamento de sólidos da mistura inicial de pasta aquosa de cimento com todos os componentes sem as partículas de alumina em larga escala é 70 por cento. O carregamento de sólidos da mistura

final de molde é 79%; esse é ligeiramente menor que o valor correspondente no primeiro exemplo. O molde forma um revestimento de face intrínseco com uma espessura de aproximadamente 100 microns. Essa formulação produz um molde menor com um teor de alumina menor para um componente menor. O

5 molde foi então curado e combustado em alta temperatura. O molde produzido foi usado para fundir artigos contendo alumineto de titânio como pás de turbina.

Em um quinto exemplo, uma mistura de pasta aquosa para fabricar um molde em cera perdida consiste em 1500 g de 80% de cimento de aluminato de cálcio comercialmente misturado, CA25C, produzido pela

10 empresa Almatiss. O produto CA25C nominalmente consiste em 70% de cimento de aluminato de cálcio misturado com alumina para ajustar a composição para 80% de alumina. Uma pasta aquosa de cimento com um carregamento inicial de sólidos de 73,5 por cento foi produzida utilizando 460g de água deionizada, e 100g de sílica coloidal. Quando a pasta aquosa for

15 misturada a uma viscosidade aceitável, 550g de partículas ocas de alumina de uma faixa de tamanho menor que 0,85mm e maior que 0,5mm foi adicionada à pasta aquosa. O produto com o nome Duralum AB que foi produzido pela empresa Washington Mills, foi usado. Após a mistura, a mistura de molde em cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que

20 contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 79,1%; esse está na extremidade baixa da faixa preferida. A mistura de molde foi derramada em uma ferramenta para produzir um molde com um diâmetro de 4 polegadas e um comprimento de 6 polegadas.

25 O molde forma um revestimento de face intrínseco, porém a composição do volume do molde, e em particular a composição do revestimento de face, contém muita sílica. A composição volumosa de sílica no molde consiste em 1,4 por cento por peso. A alta concentração de sílica

coloidal na mistura pode resultar em sílica cristalina residual, e silicatos, como aluminossilicato de cálcio e aluminossilicato no molde final combustado. O alto teor de sílica do molde, e o revestimento de face em particular, gera duas limitações dessa formulação de molde. Primeira, o encolhimento pode ocorrer mediante a queima e isso gera problemas, como o craqueamento no revestimento de face e controle dimensional do componente. Segunda, o alto teor de sílica no revestimento de face pode causar a reação com o titânio fundido e ligas de alumineto de titânio quando o molde for preenchido durante a fundição; essa reação resulta em qualidade de fundição inaceitável.

Em um sexto exemplo, um molde com um diâmetro de 4 polegadas e um comprimento de 6 polegadas foi produzido utilizando uma mistura de pasta aquosa que consiste em 1500 g de um cimento de aluminato de cálcio, CA25C, 510g de água, e 50g de sílica coloidal Remet LP30. Essa formulação de mistura possui uma concentração de sílica coloidal menor que a formulação no exemplo anterior. A composição volumosa de sílica no molde consiste em 0,7 por cento por peso. 80% de cimento de aluminato de cálcio comercialmente misturado, CA25C, foram usados. Uma mistura de pasta aquosa de cimento com um carregamento inicial de sólidos de 73,0 por cento foi produzida. Nesse ponto, 550g de partículas de alumina ocas Duralum AB de uma faixa de tamanho menor que 0,85mm e maior que 0,5mm foram adicionados à pasta aquosa. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 80,2%. Após a mistura, a mistura de molde em cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. A composição volumosa de sílica no molde consiste em 0,7 por cento por peso. O molde forma um revestimento de face intrínseco com um teor de sílica menor que aquele no exemplo anterior. O teor de sílica inferior do molde e em particular do revestimento de face intrínseco, proporciona um molde que é preferido para

fundir titânio e ligas de alumineto de titânio.

Em um sétimo exemplo, um molde com um diâmetro de 100 milímetros e um comprimento de 400 milímetros foi produzido utilizando uma mistura de pasta aquosa que consiste em 4512 g de um cimento de aluminato de cálcio, CA25C, 1534g de água, e 151g de sílica coloidal LP30. Uma pasta aquosa de cimento com um carregamento inicial de sólidos de 73,0 por cento foi produzida. 80% de cimento de aluminato de cálcio comercialmente misturado, CA25C, foram usados. Nesse ponto, 2452g de partículas ocas de alumina Duralum AB de uma faixa de tamanho menor que 0,85mm e maior que 0,5mm, foram adicionados à pasta aquosa. Após a mistura, a mistura de molde em cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 81%. O molde possui uma composição uniforme ao longo do comprimento de 16 polegadas do molde no volume do molde, e no revestimento de face do molde. A composição volumosa de sílica no molde consiste em 0,6 por cento por peso. O molde forma um revestimento de face intrínseco com um baixo teor de sílica. O baixo teor de sílica do molde e em particular do revestimento de face intrínseco proporciona um molde que é preferido para fundir titânio e ligas de alumineto de titânio. A porcentagem por peso de partículas ocas de alumina no molde é 35 por cento. O molde forma um revestimento de face intrínseco com uma espessura de aproximadamente 100 microns. O molde experimenta menos de 1 por cento de contração linear mediante a queima.

Em um oitavo exemplo, um molde com um diâmetro de 100 milímetros e um comprimento de 150 milímetros foi produzido utilizando uma mistura de pasta aquosa que consiste em 765g de um cimento de aluminato de cálcio comercialmente disponível, Rescor 780, e sílica coloidal Remet LP30. Rescor 780 é produzido por Cotronics, Inc. A pasta aquosa de cimento inicial é

misturada com LP30 e possui um carregamento inicial de sólidos de 76 por cento. Quando a pasta aquosa inicial for misturada em uma viscosidade adequada, 1122g de Zircalcast 95 foram adicionados. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 81%. Após a mistura, a mistura de molde em cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. A alumina refratária fundível Zircalcast-95 é produzida por Zircar Ceramics, Inc. Zircalcast-95 é um cimento de alumina de alta pureza misturado com partículas ocas de alumina fundida. ZIRALCAST-95 contém aproximadamente 44 por cento de partículas ocas de alumina por peso, e 56 por cento de cimento de alumina por peso; o tamanho de partículas de ocas de alumina é maior que aquele usado no exemplo anterior, que é tipicamente maior que 1 mm.

Essa formulação de molde que foi então produzida possui alguns atributos atraentes, porém essa possui várias limitações. Primeira, o revestimento de face intrínseco no molde é mais fino que o desejado; isso se deve ao alto carregamento de sólidos da mistura final antes do derramamento. Segundo, há muita sílica coloidal na mistura de molde e isso resulta em muita sílica, e silicatos resultantes, como aluminossilicato de cálcio, no volume do molde e no revestimento de face do molde final após a queima. O alto teor de sílica e silicato do molde e do revestimento de face em particular proporciona duas limitações dessa formulação de molde. Primeira, o encolhimento pode ocorrer mediante a queima e isso gera problemas, como craqueamento no revestimento de face e controle dimensional do componente. Segunda, o alto teor de sílica no revestimento de face pode causar uma reação com a liga de alumineto de titânio fundida quando o molde for preenchido durante a fundição; essa reação resulta em qualidade de fundição inaceitável. Por fim, o tamanho de partículas ocas de alumina é muito grande e isso reduz a fluidez da mistura resultante. A fluidez inferior resulta em um revestimento de face intrínseco mais

fino, e o molde resultante produz peças fundidas com qualidade inferior.

Em um nono exemplo, uma mistura de pasta aquosa foi produzida utilizando 2708 g de um cimento de aluminato de cálcio, Secar 80, 820g de água deionizada, e 80g de sílica coloidal LP30. O cimento Secar 80 é um cimento hidráulico comercialmente disponível com um teor de alumina de aproximadamente 80%. Secar 80 é produzido pela empresa Kerneos, esse era anteriormente conhecido como LaFarge. A escória de cimento de aluminato de cálcio é preparada por reação em estado sólido. A escória sinterizada é então misturada com alumina de elevada área superficial para criar um cimento hidráulico capaz de contribuir para resistências à alta temperatura. As fases mineralógicas primárias de Secar 80 são aluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7) e alumina (Al_2O_3).

Em um décimo exemplo, um molde com um diâmetro de aproximadamente 100 milímetros e um comprimento de aproximadamente 400 milímetros foi produzido utilizando uma mistura de pasta aquosa que consiste em 4500 g de um cimento de aluminato de cálcio, CA25C e 1469g de água deionizada. Uma pasta aquosa de cimento com um carregamento inicial de sólidos de 75,3 por cento foi produzida. 80% de cimento de aluminato de cálcio comercialmente misturado, CA25C, foram usados. Nesse ponto, 2445g de partículas de alumina ocas Duralum AB de uma faixa de tamanho menor que 0,85mm e maior que 0,5mm foram adicionados à pasta aquosa. Após a mistura, a mistura por cera perdida foi derramada de maneira controlada em um recipiente que contém o padrão de cera temporário, como descrito no primeiro exemplo. O carregamento de sólidos da mistura final de molde é 81%. O molde possui uma composição uniforme ao longo do comprimento de 16 polegadas do molde no volume do molde, e no revestimento de face do molde. A porcentagem por peso de partículas ocas de alumina no molde é 35 por cento. O molde experimenta menos de 1 por cento de contração linear

mediante a queima. O molde é adequado para fundição.

Uma pasta aquosa de cimento com 2708g de Secar 80 com um carregamento inicial de sólidos de 73,0 por cento foi produzida. Não foi possível gerar uma pasta aquosa com esse cimento que poderia produzir um
5 molde com um revestimento de face intrínseco preferido. Se o tempo de trabalho da mistura de molde em cera perdida for muito curto, há tempo insuficiente para produzir moldes grandes de componentes de formato complexo.

Se o tempo de trabalho da mistura de molde em cera perdida for
10 muito longo e o cimento de aluminato de cálcio não for curado de maneira suficientemente rápida, a separação do cimento em escala precisa e a alumina em larga escala pode ocorrer e isso pode resultar em um molde segregado em que a formulação varia e as propriedades de molde resultantes não são uniformes.

15 A sílica coloidal pode afetar a taxa de reação das fases de aluminato de cálcio com água, e essa também pode afetar a resistência de molde durante a cura. Essa taxa de reação das fases de aluminato de cálcio com água controla o tempo de trabalho da mistura de molde em cera perdida durante a fabricação. Esse tempo está entre cerca de 30 segundos e cerca de
20 10 minutos. Se o tempo de trabalho da mistura de molde em cera perdida for muito curto, há tempo insuficiente para produzir moldes grandes de componentes de formato complexo, e o revestimento de face intrínseco contínuo não é formado. Se o tempo de trabalho da mistura de molde em cera perdida for muito longo e o cimento de aluminato de cálcio não for curado de
25 maneira suficientemente rápida, a separação do cimento em escala precisa e a alumina em larga escala pode ocorrer e isso pode resultar em um molde segregado em que a formulação varia e as propriedades de molde resultantes não são uniformes; isso também pode resultar na posição indesejada de ter um

revestimento de face que não é contínuo ou varia em constituintes e propriedades.

As fases constituintes no cimento que constituem o revestimento de face do molde contínuo, e proporcionam o aglutinante para o volume do molde, consiste em uma característica da presente descrição. As três fases no cimento de aluminato de cálcio compreendem monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$), e os inventores fizeram essa seleção para realizar vários propósitos. Primeiro, as fases devem se dissolver ou dissolver parcialmente e formar uma suspensão que pode suportar todas as fases agregadas na pasta aquosa de fabricação de molde em cera perdida subsequente. Segundo, as fases devem promover o endurecimento ou cura do molde após o derramamento. Terceiro, as fases devem proporcionar resistência ao molde durante e após a fundição. Quarto, as fases devem exibir reação mínima com as ligas de titânio que são fundidas no molde. Quinto, o molde deve possuir uma correspondência de expansão térmica adequada com a peça fundida de liga de titânio para minimizar o estresse térmico sobre a parte que é gerada durante o resfriamento após a solidificação.

As três fases no cimento de aluminato de cálcio/aglutinante no molde e no revestimento de face do molde são monoaluminato de cálcio (CaAl_2O_4), dialuminato de cálcio (CaAl_4O_7), e maienita ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$). A maienita é incorporada no molde, pois essa é um aluminato de cálcio de endurecimento rápido e proporciona resistência ao revestimento de face e volume do molde durante os estágios iniciais de cura. A cura deve ser realizada em baixas temperaturas, pois o padrão de cera temporário é sensível à temperatura e perde seu formato e propriedades mediante a exposição térmica acima de ~ 35 graus C. Prefere-se curar o molde em temperaturas abaixo de 30 graus C.

Será entendido que a descrição acima pretende ser ilustrativas, e

não restritiva. Por exemplo, as modalidades descritas acima (e/ou aspectos dessas) podem ser usadas em combinação. Ademais, muitas modificações podem ser feitas para adaptar uma situação ou material particular aos ensinamentos das várias modalidades sem que se abandone seu escopo.

- 5 Embora as dimensões e tipos de materiais descritos aqui pretendam definir os parâmetros das várias modalidades, esses não são limitativos e são meramente exemplificativos. Muitas outras modalidades se tornarão óbvias para os elementos versados na técnica mediante a análise da descrição acima. O escopo das várias modalidades deve ser, portanto, determinado com
- 10 referência às reivindicações em anexo, juntamente com o escopo total de equivalentes aos quais essas reivindicações são intituladas. Nas reivindicações em anexo, os termos “inclusive” e “nos quais” são usados como os equivalentes em Inglês padrão dos respectivos termos “compreendendo” e “em que”. Ademais, nas reivindicações a seguir, os termos “primeiro”, “segundo”, e
- 15 “terceiro”, etc. são usados meramente como rótulos, e não pretendem impor exigências numéricas sobre seus objetos. Ademais, as limitações das reivindicações a seguir não são escritas em formato “means-plus-function” (dispositivo mais função) e não pretendem ser interpretadas com base em 35 U.S.C. § 112, sexto parágrafo, a menos que e até essas limitações
- 20 reivindicadas utilizarem expressamente a frase “meios para” seguida por uma expressão de função nula de estrutura adicional. Será entendido não necessariamente que todos esses objetivos ou vantagens descritos aqui podem ser obtidos de acordo com qualquer modalidade particular. Assim, por exemplo, os elementos versados na técnica irão reconhecer que os sistemas e
- 25 técnicas descritos aqui podem ser incorporados ou realizados de maneira que obtenha ou aperfeiçoe uma vantagem ou grupo de vantagens como ensinado aqui sem atingir necessariamente outros objetivos ou vantagens como pode ser ensinado ou sugerido aqui.

Embora a invenção seja descrita em detalhes em conjunto apenas com um número limitado de modalidades, deve ser facilmente entendido que a invenção não se limita a essas modalidades descritas. De preferência, a invenção pode ser modificada para incorporar qualquer número de variações, alterações, substituições ou disposições equivalentes não descritas até agora, porém essas são comensuráveis com o espírito e escopo da invenção. Adicionalmente, embora várias modalidades da invenção sejam descritas, será entendido que os aspectos da descrição podem incluir apenas algumas das modalidades descritas. Consequentemente, a invenção não deve ser entendida como limitada pela descrição anterior, porém é limitada apenas pelo escopo das reivindicações em anexo.

Essa descrição escrita utiliza exemplos para descrever a invenção, inclusive o melhor modo, e também para permitir que qualquer elemento versado na técnica pratique a invenção, inclusive fabricando e utilizando quaisquer dispositivos ou sistemas e realizando quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorrem aos elementos versados na técnica. Esses outros exemplos pretendem estar dentro do escopo das reivindicações se esses possuírem elementos estruturais que não se diferem da linguagem literal das reivindicações, ou se esses incluírem elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais da linguagem literal das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, que compreende:

um cimento de aluminato de cálcio que compreende
5 monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maienita, em que o dito molde possui um revestimento de face intrínseco de cerca de 10 microns a cerca de 250 microns entre o volume do molde e a cavidade do molde.

2. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o revestimento de face é um revestimento de face intrínseco contínuo.

10 3. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o molde compreende o volume do molde e o revestimento de face intrínseco, e em que o volume do molde e o revestimento de face intrínseco possuem composições diferentes e o revestimento de face intrínseco compreende aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 microns.

15 4. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o molde compreende o volume do molde e o revestimento de face intrínseco, e em que o volume do molde e o revestimento de face intrínseco possuem composições diferentes e em que o volume do molde compreende partículas de alumina maiores que cerca de 50 microns.

20 5. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o molde compreende o volume do molde e o revestimento de face intrínseco, e em que o volume do molde compreende partículas de alumina maiores que cerca de 50 microns e o revestimento de face intrínseco compreende partículas de aluminato de cálcio com um tamanho menor que cerca de 50 microns.

25 6. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais monoaluminato de cálcio que o volume do molde.

7. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o

revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento menos alumina que o volume do molde.

8. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o revestimento de face intrínseco possui, por fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato de cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maenita que o volume do molde.

9. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que a fração de peso de monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é maior que 0,60 e a fração de peso de maenita é menor que 0,10.

10. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o dito monoaluminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a 0,95, e o dito monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,10 a 0,90,

11. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o dito dialuminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a cerca de 0,80, e o dito dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,05 a 0,90,

12. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita maenita no volume da composição de molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,01 a cerca de 0,30, e a dita maenita no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,001 a 0,05.

13. COMPOSIÇÃO DE MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o dito monoaluminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a 0,95, e o dito monoaluminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,1 a 0,9; o dito dialuminato de cálcio no volume do molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,05 a cerca de 0,80, e o dito dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,05 a 0,90; e em que a dita

maienita no volume da composição de molde compreende uma fração de peso de cerca de 0,01 a cerca de 0,30, e a dita maienita no revestimento de face intrínseco é cerca de 0,001 a 0,05.

14. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, que
5 compreende adicionalmente partículas de óxido de alumínio no volume do molde que possuem uma dimensão externa menor que cerca de 500 microns.

15. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o cimento de aluminato de cálcio compreende mais de 30% por peso da composição usada para fabricar o molde.

10 16. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente partículas de óxido de alumínio, partículas de óxido de magnésio, partículas de óxido de cálcio, partículas de óxido de zircônio, partículas de óxido de titânio, partículas de óxido de silício, ou composições dessas.

15 17. MOLDE, de acordo com a reivindicação 16, em que as ditas partículas de óxido de alumínio compreendem de cerca de 40 % por peso a cerca de 68 % por peso da composição usada para fabricar o molde.

18. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente partículas ocas de óxido de alumínio.

20 19. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente mais de cerca de 10% por peso e menos que cerca de 50% por peso da composição de molde em óxido de cálcio.

20. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que a porcentagem de sólidos em uma mistura inicial de cimento de aluminato de
25 cálcio – líquido usada para fabricar o molde é de cerca de 71 a cerca de 78 %.

21. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que a porcentagem de sólidos na mistura final de cimento de aluminato de cálcio – líquido com a alumina em larga escala, usada para fabricar o molde, é de cerca

de 75% a cerca de 90%.

22. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o molde forma um artigo contendo titânio.

23. MOLDE, de acordo com a reivindicação 22, em que o artigo contendo titânio compreende uma pá de turbina contendo alumineto de titânio.

24. COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE DE UM MOLDE, que é usado para fundir um artigo contendo titânio, sendo que a dita composição de revestimento de face compreende:

10 monoaluminato de cálcio, dialuminato de cálcio, e maienita, em que a dita composição de revestimento de face é um revestimento de face intrínseco, possui cerca de 10 microns a cerca de 250 microns de espessura, e fica localizada entre o volume do molde e a superfície do molde que se abre na cavidade do molde.

15 25. COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE, de acordo com a reivindicação 24, em que o revestimento de face compreende aluminato de cálcio com um tamanho de partícula menor que cerca de 50 microns.

26. COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE, de acordo com a reivindicação 24, em que o revestimento de face intrínseco possui, por 20 fração de peso, pelo menos 20 por cento mais aluminato de cálcio, pelo menos 20 por cento menos alumina, e pelo menos 50 por cento menos maienita que o volume do molde.

27. COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE, de acordo com a reivindicação 24, em que a fração de peso de monoaluminato de cálcio 25 no revestimento de face intrínseco é maior que 0,60 e a fração de peso de maienita é menor que 0,10.

28. COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE, de acordo com a reivindicação 24, em que o dito monoaluminato de cálcio no

revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,10 a 0,90; o dito dialuminato de cálcio no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,05 a 0,90; e em que a dita maienita no revestimento de face intrínseco compreende uma fração de peso de 0,001 a 0,05.

29. MÉTODO PARA FORMAR UM MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, sendo que o dito método compreende:

combinar aluminato de cálcio com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, em que a porcentagem de sólidos na mistura inicial de aluminato de cálcio / líquido é cerca de 70% a cerca de 80% e a viscosidade da pasta aquosa é cerca de 50 a cerca de 150 centipoise;

adicionar partículas de óxido na pasta aquosa de modo que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio / líquido com as partículas de óxido em larga escala consistam em 75% a cerca de 90%;

introduzir a pasta aquosa em uma cavidade do molde que contém um padrão temporário; e

deixar que a pasta aquosa seja curada na cavidade do molde para formar um molde de um artigo contendo titânio.

30. MÉTODO DE FUNDIÇÃO DE TITÂNIO E LIGAS DE TITÂNIO, que compreende:

obter uma composição de molde de fundição por cera perdida que compreende aluminato de cálcio e óxido de alumínio, em que o aluminato de cálcio é combinado com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio, e em que os sólidos na mistura final de aluminato de cálcio / líquido com a alumina em larga escala é cerca de 75% a cerca de 90%;

derramar a dita composição de molde de fundição por cera perdida em um recipiente que contém um padrão temporário;

curar a dita composição de molde de fundição por cera perdida;

remover o dito padrão temporário do molde;

queimar o molde;

pré-aquecer o molde a uma temperatura de fundição de molde;

derramar o titânio fundido ou liga de titânio no molde aquecido;

5 solidificar o titânio fundido ou liga de titânio e formar uma peça fundida de titânio solidificado ou liga de titânio; e

 remover a peça fundida de titânio solidificado ou liga de titânio do molde.

31. MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO
10 TITÂNIO, de acordo com a reivindicação 30.

32. MOLDE, de acordo com a reivindicação 1, em que o molde compreende adicionalmente sílica.

33. COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE, de acordo com a reivindicação 24, em que a composição compreende adicionalmente
15 sílica.

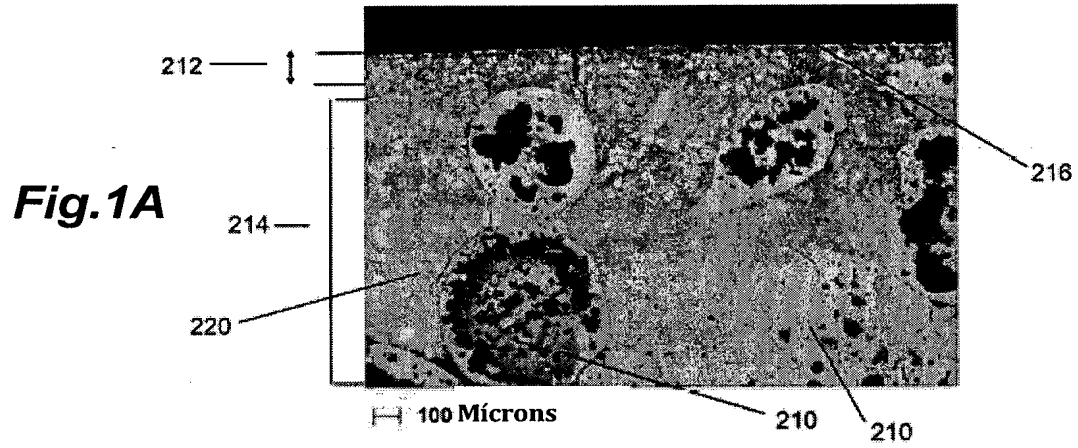
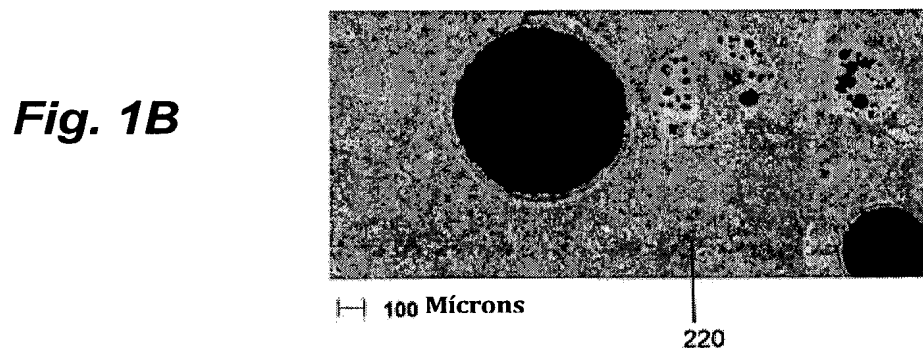


Fig.2A

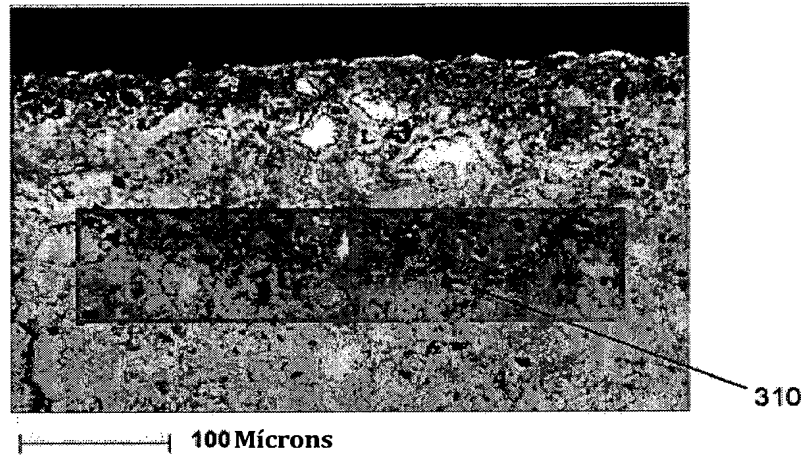


Fig.2B

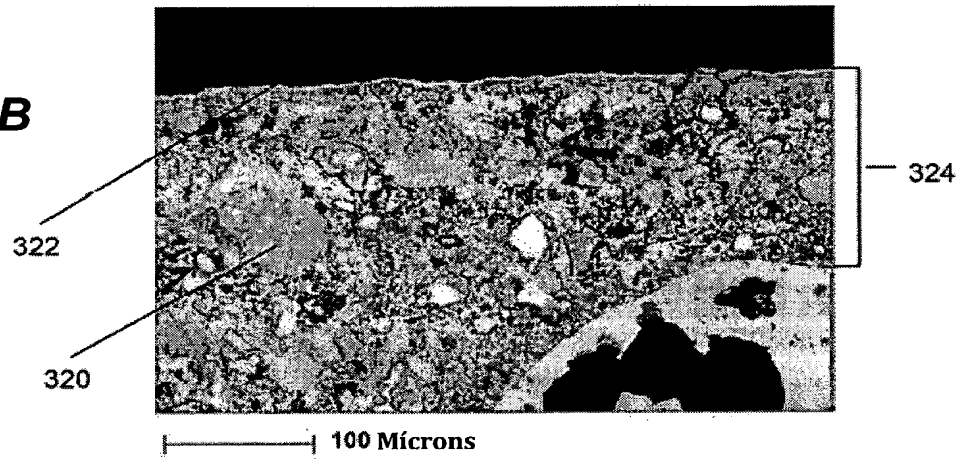


Fig. 3

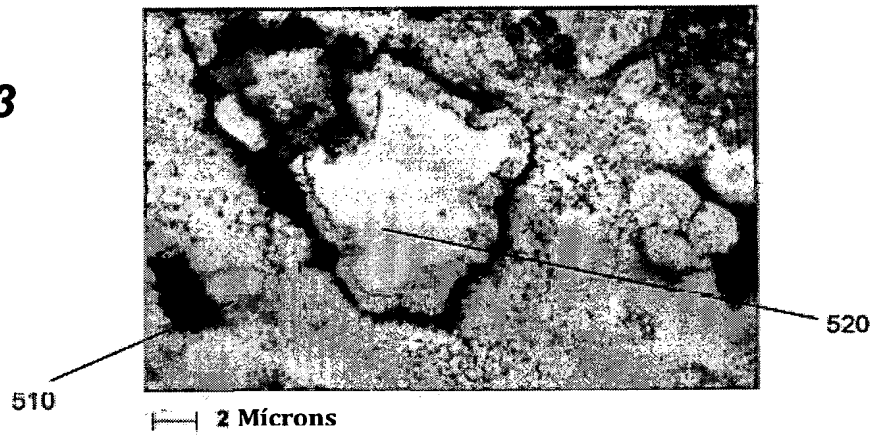


Fig. 4

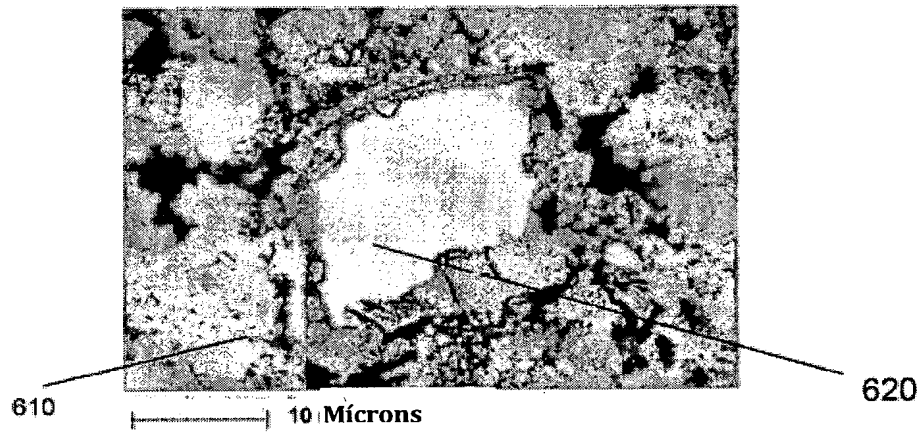
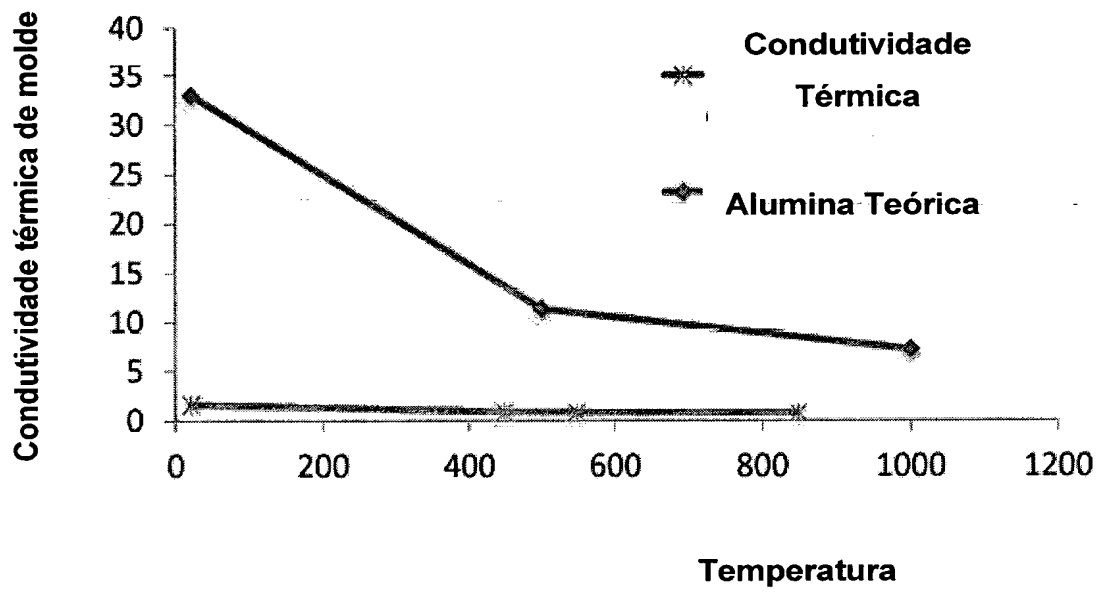


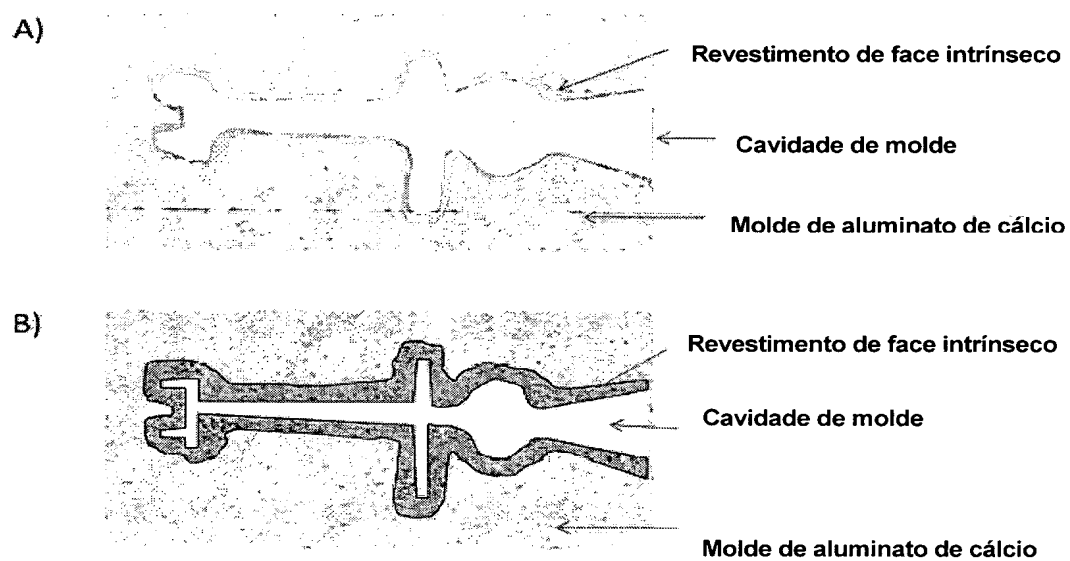
Fig. 5a**700**

705 – combinar aluminato de cálcio com um líquido para produzir uma pasta aquosa de aluminato de cálcio no líquido	-705
707 – adicionar partículas de óxido na pasta aquosa	-707
710 – introduzir a pasta aquosa em uma cavidade de molde que contém um padrão temporário	-710
715 – permitir que a pasta aquosa seja curada na cavidade de molde para formar um molde de um artigo contendo titânio	-715

725 – obter uma composição de molde de fundição por cera perdida que compreende aluminato de cálcio e óxido de alumínio	-725
730 – derramar a dita composição de molde de fundição por cera perdida em um recipiente contendo um padrão temporário	-730
735 – curar a dita composição de molde de fundição por cera perdida	-735
740 – remover o dito padrão temporário do molde	-740
745 – pré-aquecer o molde a uma temperatura de fundição de molde	-745
750 – derramar o titânio fundido ou liga de titânio no molde aquecido	-750
755 – solidificar o titânio fundido ou liga de titânio e formar uma peça fundida de titânio solidificado ou liga de titânio	-755
760 – remover a peça fundida de liga de titânio solidificado do molde	-760

Fig. 5b

**Fig. 6**

**Fig. 7**

RESUMO

**“MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO CONTENDO TITÂNIO, COMPOSIÇÃO
DE MOLDE, COMPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO DE FACE DE UM MOLDE,
MÉTODO PARA FORMAR UM MOLDE PARA FUNDIR UM ARTIGO
5 CONTENDO TITÂNIO, MÉTODO DE FUNDIÇÃO DE TITÂNIO E LIGAS DE
TITÂNIO E ARTIGO DE TITÂNIO OU LIGA DE TITÂNIO PRODUZIDO PELO
MÉTODO DE FUNDIÇÃO”**

Trata-se de modo geral a composições de molde e métodos de
moldagem e os artigos moldados desse modo. Mais especificamente, a
10 descrição se refere a composições de molde, composições de revestimento
de face intrínseco, e métodos para fundir artigos contendo titânio, e os
artigos contendo titânio moldados desse modo.