



(19) INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
PORTUGAL

(11) *Número de Publicação:* PT 89417 B

(51) *Classificação Internacional:* (Ed. 5)

C04B035/65 A	C22C032/00 B
C22C001/10 B	C04B035/10 B
C04B035/56 B	B22F003/00 B

(12) *FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO*

(22) <i>Data de depósito:</i> 1989.01.10	(73) <i>Titular(es):</i> LANXIDE TECHNOLOGY COMPANY, LP TRALEE INDUSTRIAL PARK NEWARK, DELAWARE 19711 US
(30) <i>Prioridade:</i> 1988.01.11 US 142385	
(43) <i>Data de publicação do pedido:</i> 1990.02.08	(72) <i>Inventor(es):</i> RATNESH KUMAR DWIVEDI US VIRGIL IRICK, JR. US
(45) <i>Data e BPI da concessão:</i> 03/93 1993.03.23	(74) <i>Mandatário(s):</i> ANTÓNIO LUÍS LOPES VIEIRA DE SAMPAIO RUA DE MIGUEL LUPI 16 R/C 1200 LISBOA PT

(54) *Epígrafe:* PROCESSO PARA O FABRICO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ METÁLICA

(57) *Resumo:*

DESCRIÇÃO
DA
PATENTE DE INVENÇÃO

N.º 89 417

REQUERENTE: LANXIDE TECHNOLOGY COMPANY, LP, norte-americana, industrial, com sede em Tralee Industrial Park, Newark, Delaware 19711, Estados Unidos da América.

EPÍGRAFE: " PROCESSO PARA O FABRICO DE COMPOSITOS COM MATRIZ METÁLICA "

INVENTORES: Ratnesh Kumar Dwivedi e Virgil Irick, Jr.

Reivindicação do direito de prioridade ao abrigo do artigo 4º da Convenção de Paris de 20 de Março de 1883.

Estados Unidos da América, em 11 de Janeiro de 1988, sob o n.º. 142,385.

"PROCESSO PARA O FABRICO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ METÁLICA"

Campo da Invenção

A presente invenção refere-se a um processo para a moldação num pré-molde de cerâmica, de um compósito com matriz metálica pela infiltração espontânea de uma massa permeável de material de enchimento, colocada no pré-molde, com alumínio, magnésio ou as suas ligas fundidas. A presente invenção diz respeito também aos corpos e estruturas compósitos com matriz metálica de alumínio e magnésio.

Fundamentos e descrição da técnica anterior

Vários produtos compósitos que compreendem uma matriz metálica que se introduz numa fase de consolidação ou reforço que compreende um material de enchimento tal como partículas, filamentos enredados, fibras ou similares de cerâmica, mostram-se muito promissores em aplicações diversas porque combinam a resistência e a dureza da fase de reforço com a ductilidade e a tenacidade da matriz de metal. Geralmente, um corpo compósito com matriz metálica apresentará um aperfeiçoamento de propriedades tais como a resistência, a rigidez, a resistência ao desgaste por contacto e a manutenção da resistência a temperaturas elevadas relativamente à matriz metálica per se. Em certos casos, os corpos compósitos podem ser mais leves que os corpos com dimensões correspondentes do metal da matriz

per se. Contudo, a medida em que qualquer propriedade dada pode ser melhorada depende grandemente dos constituintes específicos utilizados, das suas respectivas percentagens em volume ou em peso nos corpos compósitos e de como eles são processados na formação dos corpos compósitos. Os compósitos com matriz de alumínio reforçados com materiais de enchimento de cerâmica, tais como o carboneto de silício sob a forma de partículas, plaquetas ou de filamentos enredados, por exemplo, têm interesse devido à sua maior solidez e à maior resistência ao desgaste e às temperaturas, relativamente ao alumínio sem material de enchimento.

Vários processos metalúrgicos têm sido descritos para fabricar compósitos com matriz de alumínio, incluindo processos baseados nas técnicas de metalurgia dos pós e os baseados na infiltração de metal fundido de materiais de reforço, por exemplo a moldação sob pressão.

Com técnicas da metalurgia dos pós misturam-se o metal, sob a forma de pó, e o material de reforço cerâmico, sob a forma de pó, filamentos enredados, fibras cortadas, etc., que são depois prensados a frio e sinterizados, ou prensados a quente. A produção de compósitos com matriz metálica pela metalurgia dos pós utilizando processos convencionais impõe certos limites no que diz respeito às características dos produtos que podem obter-se. A percentagem, em volume, da fase de cerâmica no compósito está limitada tipicamente a cerca de 40%, impondo a operação de prensagem um limite às dimensões que podem atingir-se, e apenas sendo possíveis formas dos produtos relativamente simples sem um processamento subsequente (por exemplo, modelação ou maquinagem) ou sem recorrer a prensas

complexas. Por outro lado, pode ocorrer durante a sinterização uma contracção não uniforme, bem como falta de uniformidade na microestrutura devida à segregação do crescimento das partes compactas e granulares.

Quando se utiliza alumínio fundido para fabricar, por exemplo, compósitos com material de enchimento de alumina e matriz de alumínio, o alumínio fundido não molha facilmente os materiais de reforço de alumina, tornando assim difícil a formação de um produto coerente. A técnica anterior sugere várias soluções para este problema, incluindo o revestimento da alumina (ou outros materiais de enchimento), com um agente molhante, a aplicação de pressão para forçar o alumínio fundido a entrar no material de reforço ou de enchimento, a aplicação de um vácuo para deslocar o alumínio fundido para o interior do material de enchimento, a operação a temperaturas muito altas, bem acima do ponto de fusão do alumínio, ou uma combinação destas técnicas. Estas técnicas tendem a complicar o processamento, exigem equipamento caro, tal como prensas, aparelho de vácuo, comandos, etc., limitam as dimensões e as formas dos produtos que podem ser modelados e por vezes introduzem no produto componentes indesejáveis, sob a forma de agentes molhantes ou similares.

O uso de uma atmosfera reactiva retida num molde para facilitar a infiltração do metal fundido está descrito na patente americana 3 364 976 de J.N. Reding et al. Esta patente revela um processo de moldação de metais, tais como ligas de alumínio e magnésio, no qual a cavidade do molde, contendo optativamente um material de enchimento apropriado, contém uma

atmosfera que é reactiva com o metal fundido a vazar, formando um produto da reacção sólido, com um pequeno volume. O molde é vedado de maneira eficaz, de modo que a reacção com o metal fundido consome a atmosfera retida e gera um vácuo dentro da cavidade do molde, arrastando assim o metal fundido para dentro. Por exemplo, na coluna 3, linha 55 e seguintes, descreve-se a reacção de magnésio fundido, com o oxigénio e o azoto contido no ar, para formar óxido de magnésio e nitreto de magnésio, gerando desta maneira um vácuo suficiente para preencher substancialmente todo o molde com magnésio fundido. Os desenhos ilustram um molde (10) em forma de caixa rectangular com uma única abertura (12), que conduz a uma cavidade (14) contendo uma atmosfera, que é apropriadamente reactiva com metal fundido (16). A imersão do molde numa massa do metal fundido, como se ilustra na fig. 3, afirma-se eliminar a necessidade de o molde ser completamente estanque aos gases ou aos líquidos (coluna 2, linhas 57-61) e a reacção da atmosfera retida dentro do molde faz com que o metal fundido encha o molde. Os exemplos 5 e 10, respectivamente, ilustram a infiltração de uma liga de alumina em grão com magnésio fundido, a 704°C (1300°F) e a infiltração do carboneto de silício com liga de alumínio fundida contendo 5% de magnésio, a 760°C (1400°F).

O pedido de patente americano N^o 049 171, depositado em 13 de Maio de 1987, em nome de Danny K. White, et al, e intitulado "Metal Matrix Composites", concedido ao cessionário do presente pedido de patente, descreve um processo para a produção de compósitos com matriz de alumínio. Segundo este processo, coloca-se alumínio fundido contendo pelo menos cerca de 1% de magnésio, em peso, e preferivelmente pelo menos com 3%,

em peso, de magnésio, em contacto com uma massa permeável de material de enchimento de cerâmica na presença de um gás compreendendo cerca de 10 a 100 por cento, em volume, de azoto, sendo o restante um gás não oxidante, por exemplo, argon ou hidrogénio. A liga de alumínio fundida, que pode estar a uma temperatura de cerca de 700°C a 1200°C, infiltra-se espontaneamente no material de enchimento permeável, ou seja, infiltra-se no material de enchimento sem a necessidade de aplicar pressão mecânica ou vácuo para ajudar a infiltração. Deixa-se o corpo fundido solidificar para formar um corpo de matriz metálica encaixando-se no material de enchimento de cerâmica, ou seja, um corpo compósito com matriz de metal. Os materiais de enchimento de cerâmica incluem, por exemplo, óxidos, carbonetos, borretos e nitretos, por exemplo alumina.

Sumário da Invenção

De modo genérico, a presente invenção proporciona um processo para a formação de compósitos com matriz metálica, por infiltração espontânea de alumínio ou magnésio fundidos, no interior de uma massa ou leito de um material de enchimento (adiante designado por "segundo material de enchimento"), colocado num molde, que é mantido num ambiente substancialmente hermetico. O molde é formado pela oxidação directa de um metal precursor ou metal original fundido, com um oxidante, para desenvolver ou fazer crescer um produto da reacção de oxidação policristalino, que penetra pelo menos numa porção de um pré-molde constituído por um material de enchimento apropriado (adiante designado por "primeiro material de enchimento"). O lei

to vedado hermeticamente pode conter ar retido, mas o ar retido e o conteúdo do molde estão isolados ou vedados de modo a excluir ou impedir a entrada do ar exterior ou ambiente. O molde é cheio com o segundo material de enchimento e posto em contacto com o metal fundido, sendo o conteúdo do molde hermeticamente vedado, o mais tipicamente por selagem da entrada ou abertura do molde. Proporcionando um ambiente hermético, consegue-se a infiltração espontânea eficaz do segundo material de enchimento a temperaturas moderadas do metal fundido e, evitando-se ou eliminando assim toda necessidade de agentes molhantes, em especial componentes de liga no metal alumínio ou no metal magnésio fundidos, da aplicação de pressão mecânica ou de vácuo, atmosferas de gases especiais ou qualquer outro expediente para a infiltração.

Por conseguinte, forma-se primeiro um molde substancialmente impermeável pelo processo de oxidação directa descrito nos pedidos de patente do mesmo proprietário adiante citados. Coloca-se um pré-molde permeável constituído por um primeiro material de enchimento e provido de uma cavidade com a configuração desejada em contacto com um metal original fundido e faz-se reagir com um oxidante. Esta reacção forma um produto da reacção de oxidação impermeável e é realizada numa gama de temperaturas que se estende desde uma temperatura acima do ponto de fusão do metal original, até uma temperatura abaixo do ponto de fusão do produto da reacção de oxidação. Durante a reacção, pelo menos uma porção do produto da reacção de oxidação é mantida em contacto com o metal original fundido e o oxidante e entre os mesmos, para progressivamente transpor-

tar metal original fundido através do produto da reacção de oxidação no sentido do oxidante e para o interior do pré-molde, de modo que o produto da reacção de oxidação continue a formar-se dentro do pré-molde na interface do oxidante e do produto da reacção de oxidação anteriormente formado. A reacção de oxidação continua na gama de temperaturas atrás referida, para a penetração do produto da reacção de oxidação, pelo desenvolvi-mento deste último em pelo menos uma porção do pré-molde, pro-porcionando assim o molde impermeável sob a forma de um corpo de cerâmica que tem nele incluído o primeiro material de enchi-mento. Por exemplo, pelo menos a porção do pré-molde que defi-ne a cavidade pode estar encaixada no interior do produto da reacção de oxidação. Em qualquer caso, a cavidade formada do molde impermeável é preenchida pelo menos parcialmente com uma massa permeável de um segundo material de enchimento, e depois é posta em contacto com alumínio fundido, durante um período de tempo suficiente para infiltrar espontaneamente a massa do segundo material de enchimento, enquanto se mantém este conjun-to num ambiente hermético. Terminada a infiltração espontânea, solidifica-se o metal fundido para proporcionar o corpo compó-sito com matriz metálica.

Num aspecto da presente invenção, utiliza-se uma mas-sa estável ou reservatório de alumínio ou magnésio fundidos, que se estende para além da cavidade do molde, para realizar efectivamente o ambiente hermético para o conteúdo do molde. Tipicamente, a abertura ou entrada da cavidade é vedada por uma massa estável ou coluna de alumínio fundido.

Segundo uma outra forma de realização da presente in

4.

venção, o corpo compósito com matriz de metal fica ligado ao molde após a solidificação do metal fundido. Nas condições do processo, o metal fundido que solidifica é mantido em contacto com o molde impermeável, ou com uma porção do mesmo, para ligar o compósito com matriz de metal resultante a pelo menos u ma porção de molde. Deste modo, o compósito com matriz metálica é formado integrado com o molde ou com parcela do mesmo, para formar um laminado ou estrutura de cerâmica-compósito com matriz de metal.

Em ainda uma outra forma de realização, a cavidade no molde é pré-modelada por forma a ter uma geometria pré-determinada, ajustando-se o compósito com matriz de metal resultante a essa geometria. Quando se separa o molde do compósito com matriz de metal, as superfícies do compósito com matriz metálica reproduzem inversamente a geometria da cavidade. É as sim possível, segundo a presente invenção, obter corpos compósitos com matriz de metal modelados.

Definições

Tal como são utilizados aqui e nas reivindicações, os termos seguintes têm os significados indicados.

Os termos "alumínio" e "magnésio" significam e in cluem o metal substancialmente puro, por exemplo, um alumínio ou um magnésio, sem componentes de liga, relativamente puros existentes no comércio, bem como outras classes de metal e de ligas metálicas, tais como os metais existentes no mercado, com impurezas e/ou componentes de liga, tais como ferro, silício, cobre, magnésio, manganês, crómio, zinco, etc. Uma liga de alu

mínio ou magnésio para os fins desta definição é uma liga na qual o alumínio ou o magnésio, respectivamente, é o constituinte principal.

O termo "metal original" significa o metal, por exemplo, alumínio, silício, titânio, estanho ou zircônio, que é o precursor de um produto da reação de oxidação policristalino e inclui aquele metal como um metal substancialmente puro, ou um metal existente no mercado, com impurezas e/ou componentes de liga. Uma liga de metal, para os fins da definição, é uma liga na qual esse metal precursor constitui o principal constituinte.

O termo "cerâmico" significa e inclui, de maneira não limitativa a definição clássica deste termo, como sendo um material que consiste totalmente em materiais não metálicos e inorgânicos, mas incluindo também no seu significado um material que é predominantemente cerâmico em relação, quer à sua composição, quer às propriedades dominantes, embora o corpo possa conter quantidades substanciais de um ou vários dos metais derivados do metal original, o mais tipicamente dentro de uma gama entre cerca de 1 e 40%, em volume, podendo no entanto incluir ainda mais metal.

O termo "material de enchimento" significa e inclui quaisquer materiais de enchimento apropriados para utilizar na prática da presente invenção, incluindo os materiais de enchimento de cerâmica per se, tais como alumina ou carboneto de silício sob a forma de fibras, fibras cortadas, partículas, filamentos enredados, bolhas, esferas, mantos de fibras ou similares e materiais de enchimento revestidos de cerâmica, tais

como fibras de carvão recobertas com alumina ou carboneto de silício para proteger o carvão do ataque pelo metal alumínio fundido.

O termo "primeiro material de enchimento" significa pelo menos um material de enchimento apropriado para se encaixar no interior de um produto da reacção de oxidação policristalino obtido pela oxidação directa de um metal original, como se descreve mais adiante com mais pormenor.

O termo "segundo material de enchimento" significa pelo menos um material de enchimento apropriado para ser infiltrado por metal de alumínio ou magnésio fundidos, para se encaixar numa matriz do metal solidificado.

O termo "impermeável" tal como é aqui usado para qualificar um molde ou qualquer outro material, estrutura ou ambiente, significa substancialmente impermeável ao ar, ou seja, substancialmente estanque ao ar.

Descrição resumida dos desenhos

A fig. 1 é uma vista em corte transversal esquemática de um conjunto de um corpo de alumínio fundido e um molde impermeável, dentro do qual está representada uma massa de segundo material de enchimento numa fase intermédia em que é infiltrado espontaneamente pelo metal de alumínio fundido, segundo uma forma de realização da presente invenção;

A fig. 2 é uma vista correspondente à fig. 1, mostrando uma estrutura de acordo com uma forma de realização da presente invenção compreendendo um compósito com matriz de metal, envolvido por manga ou substrato cerâmico e unido ao mesmo;

A fig. 3 é uma vista em corte transversal que mostra uma outra forma de realização de um conjunto do corpo de metal de alumínio fundido e um molde ou concha de cerâmica impermeável, tendo no seu interior um segundo material de enchimento;

A fig. 4 é uma vista esquemática em corte transversal, em alçado, de um conjunto para a realização de uma outra forma da presente invenção, enterrando uma massa de segundo material de enchimento no interior de alumínio fundido, para isolar o material de enchimento do ar ambiente;

A fig. 5 é uma vista esquemática em corte transversal, em alçado, de um conjunto de um metal original e um pré-molde, para produzir um molde utilizável na moldação de um compósito com matriz metálica segundo determinadas formas de realização da presente invenção;

A fig. 6 é uma vista esquemática em corte transversal, em alçado, de um conjunto de um corpo de molde consumível, encerrado no interior de uma massa de primeiro material de enchimento, utilizável para obter um molde compósito de cerâmica de acordo com outra forma de realização da presente invenção;

A fig. 7 é uma vista correspondente à fig. 6, que mostra uma fase posterior do processo de utilização do conjunto da fig. 6 para fabricar o molde compósito de cerâmica;

A fig. 8 é uma vista esquemática em corte transversal do molde compósito de cerâmica obtido pela utilização do conjunto das fig. 6 e 7; e

A fig. 9 é uma vista esquemática em corte transversal, em alçado, do conjunto de um metal original e um pré-molde com o primeiro material de enchimento utilizável para fa-

bricar um molde compósito de cerâmica de acordo com uma outra forma de realização da presente invenção;

A fig. 10 é uma fotografia de um veio de cames feito segundo o exemplo 10.

Descrição pormenorizada das formas de realização preferidas

Segundo a prática de uma forma de realização da presente invenção, põe-se alumínio ou magnésio fundidos em contacto com, ou fornecem-se a uma superfície, de uma massa permeável do segundo material de enchimento, por exemplo, uma massa de partículas, filamentos enredados ou fibras de cerâmica. O segundo material de enchimento é posto em contacto com o metal fundido, num ambiente hermético, no qual pode ficar retido ar; mas, como o molde é substancialmente impermeável, o ar retido não é repostado enquanto reage com o alumínio ou o magnésio fundidos ou é de outro modo consumido pelos mesmos (embora aqui sempre se refira especificamente o ar, deve entender-se que poderiam utilizar-se quaisquer gases reactivos pelo menos com um componente do metal fundido, como meio gasoso retido). Nestas condições, o alumínio ou o magnésio fundidos infiltram-se espontânea e progressivamente na massa de segundo material de enchimento permeável no interior do molde, dando origem à formação de um produto compósito com matriz metálica, no qual a matriz de metal se encaixa no segundo material de enchimento. O compósito com matriz metálica assumirá a forma do molde e pode compreender de cerca de 10 por cento, em volume, até cerca de 45 por cento, em volume, do segundo material de enchimento, de preferência de cerca de 45 por cento, em volume, até

4

cerca de 65 por cento, em volume, de segundo material de enchimento.

Nas condições utilizadas no processo segundo a presente invenção, tipicamente quando se adiciona o segundo material de enchimento ao molde, fica ar retido e infiltra na massa ou leito. Por outro lado, esta massa de material de enchimento é suficientemente permeável para permitir a infiltração do alumínio ou magnésio fundidos, nas condições do processo. Mas, se o ar dentro do molde não for repostado, o segundo material de enchimento, embora normalmente não seja susceptível de ser molhado pelo alumínio fundido na presença de ar, é infiltrado espontaneamente pelo alumínio ou magnésio fundidos para formar um compósito com matriz de metal alumínio ou um compósito com matriz de metal magnésio, a temperaturas moderadas do metal fundido. A infiltração verifica-se sem ser necessário recorrer a temperaturas elevadas, à aplicação de vácuo, a pressão mecânica, a atmosferas gasosas especiais, a agentes molhantes ou similares, para efectuar a infiltração. Em geral, o processo é impermeável ao ar exterior por vedação hermética do conteúdo de molde dentro de um molde impermeável e por vedação de todas as aberturas para o molde, ou por imersão do molde contendo a massa do segundo material de enchimento no interior de um corpo de alumínio ou magnésio fundidos, para proteger ou abrigar o segundo material de enchimento do ar ambiente.

A extensão da infiltração espontânea e da formação da matriz metálica variará com um dado conjunto de condições do processo, tais como os componentes de liga e o teor em alumínio ou magnésio, a presença de agentes molhantes utilizá-

veis optativamente; as dimensões, a condição da superfície e o tipo de segundo material de enchimento usado; o tempo de tratamento de contacto para a infiltração e a temperatura do metal utilizada. A temperatura a que se mantém o alumínio ou magnésio fundidos em contacto pode variar com as diversas ligas de metal e com os diferentes segundos materiais de enchimento. Em geral, no caso de um metal de alumínio fundido a infiltração espontânea e progressiva verificar-se-á a uma temperatura do processo de pelo menos cerca de 700°C e, preferivelmente, pelo menos de cerca de 800°C, ou mais, conforme as condições. Temperaturas superiores a 1000°C não são geralmente necessárias, tendo-se verificado ser particularmente utilizável uma gama de temperaturas entre mais ou menos 800°C e mais ou menos 1000°C, de preferência desde mais ou menos 850°C até mais ou menos 950°C.

O processo segundo a presente invenção, por não depender do uso de pressão mecânica aplicada externamente para forçar o metal fundido a penetrar na massa do material cerâmico, permite a produção de compósitos com matriz de metal alumínio ou compósitos com matriz de metal magnésio, uniformes, com uma percentagem volumétrica de segundo material de enchimento elevada e porosidade reduzida. A percentagem volumétrica de um segundo elemento de enchimento, para um certo conjunto de condições, pode ser alterada ou aumentada usando uma massa de segundo material de enchimento com uma baixa porosidade, isto é, um volume intersticial reduzido. Podem obter-se percentagens, em volume, do segundo material de enchimento, maiores também se a massa do segundo material de enchimento for compac

tada por técnicas convencionais, antes de ser posta em contacto com o metal fundido, desde que a massa do segundo material de enchimento não se converta nem numa massa compacta com porosidade de células fechadas, nem numa estrutura tão densa que impeça a infiltração pelo alumínio ou magnésio fundidos.

Observou-se que, para a infiltração do alumínio ou magnésio e para a formação da matriz com um dado sistema metal-segundo material de enchimento os mecanismos de infiltração predominantes são o molhamento do segundo material de enchimento pelo metal fundido, ou a criação de um vácuo num ambiente fechado, fazendo reagir o metal fundido com o oxigénio ou o azoto do ambiente fechado, ou qualquer combinação destes dois mecanismos. Se o sistema for cheio com ar que se renova e se o processo for conduzido a temperaturas relativamente baixas, isto é, não acima de mais ou menos 1000°C , verifica-se um valor insignificante ou mínimo do molhamento e da infiltração do segundo material de enchimento. No entanto, no caso de metal de alumínio fundido, vedando o segundo material de enchimento no interior do molde, de maneira que não se reponha o ar, isto é, vedando hermeticamente o processo de infiltração, obtém-se a infiltração espontânea a temperaturas que não ultrapassam cerca de 1000°C e, preferivelmente não excedendo cerca de 950°C . Por exemplo, verificou-se que uma temperatura de mais ou menos 900°C é satisfatória em muitos casos, sendo uma temperatura suficientemente elevada para efectuar a infiltração espontânea dentro de um período de tempo aceitável, sem degradação indevida do segundo material de enchimento nem ataque dos vasos refractários, dos componentes estruturais, e similares.

Fazendo agora referência à fig. 1, nela está representado um conjunto referenciado genericamente como (10), de um recinto fechado ou molde (12) impermeável, com uma configuração geralmente cilíndrica, semelhante a uma camisa, dotado de um furo cilíndrico central (B), que se estende através do mesmo e no qual estão formadas duas câmaras (a) e (b) em forma de disco e espaçadas longitudinalmente, com um diâmetro maior que o do furo (B). A porção inferior do furo (B) (como se vê na fig. 1) é fechada por um pavimento (14) do molde (12), como se indica pela representação a tracejado do perfil do furo (B) na fig. 1. As paredes (sem números) do molde impermeável (12) são feitas de material cerâmico produzido utilizando uma ou mais das técnicas de alguns dos pedidos de patente do mesmo proprietário que estão descritas mais adiante. Por consequência, o molde impermeável (12) compreende um produto da reacção de oxidação cerâmico policristalino que se encaixa num material de enchimento apropriado, aqui designado por primeiro material de enchimento, tal como alumina, carboneto de silício ou qualquer outro material de enchimento de cerâmica apropriado ou uma combinação dos mesmos. O primeiro material de enchimento pode estar sob qualquer forma desejada, tal como de partículas, esferas, filamentos enredados, fibras cortadas, bolhas, peletes, mantos de fibras, etc., ou qualquer combinação dos mesmos.

O furo (B) e as câmaras (a) e (b) de maior diâmetro são cheios com um segundo material de enchimento (22), o qual, tal como o primeiro material de enchimento, pode ser constituído por qualquer material de enchimento apropriado e pode estar sob a forma física de partículas, esferas, filamentos en

redados, fibras, fibras cortadas, bolhas, peletes, mantos de fibras, etc., ou qualquer combinação dos mesmos. A colocação do segundo material de enchimento dentro do furo (B) do molde (12) pode fazer-se sem a necessidade de proporcionar uma atmosfera gasosa especial, ou seja, esse enchimento pode ser realizado no ar, de modo que ficará retido ar dentro do segundo material de enchimento o qual ficará contido no furo (B) do molde impermeável (12).

Coloca-se um reservatório refractário (16) com uma abertura circular (18) formada na sua base ou pavimento por cima do molde (12), como se ilustra na fig. 1, na qual um anel de vedação (24) proporciona uma vedação substancialmente estanque ao ar (isto é, pelo menos estanque ao metal) entre o reservatório (16) e o molde (12). O reservatório (16) sobrejacente ao molde (12) é depois cheio com alumínio fundido ou, se se desejar, pode colocar-se um corpo de alumínio sólido dentro do reservatório (16) e aquece-se o conjunto para fundir o metal de alumínio dentro do recipiente (16). Embora a presente invenção esteja descrita com especial referência ao alumínio, deve entender-se que pode também aplicar-se o magnésio. Em ambos os casos, uma massa de metal de alumínio fundido (20) veda a única abertura ou entrada para o molde impermeável (12), contra o ar ambiente, de modo que o segundo material de enchimento (22) é vedado de maneira efectivamente hermética em relação ao ar ambiente e o metal fundido fica em contacto com o segundo material de enchimento (22) na sua superfície superior dentro do furo (B). Nestas condições, segundo a presente invenção, o alumínio fundido infiltrar-se-á espon-

taneamente no segundo material de enchimento (22), avançando de cima para baixo através do mesmo. O conjunto (10) pode ser mantido numa atmosfera de ar normal durante o processamento, sem efeitos adversos na infiltração espontânea.

A fig. 1 mostra uma fase intermédia da infiltração espontânea na qual o alumínio fundido (20) se infiltrou cerca da metade do leito do segundo material de enchimento (22), até um ponto aproximadamente a meio caminho entre as câmaras (a) e (b). Após um período de tempo com a temperatura mantida suficientemente elevada para manter o alumínio (20) na condição fundida ou seja, a mais ou menos 900°C , o alumínio infiltrar-se-á espontaneamente em todo o leito do segundo material de enchimento (22), até ao pavimento (14) do molde (12). Esta infiltração espontânea realiza-se sem a necessidade de fornecer agentes molhantes ao material de enchimento (embora isso possa ser usado optativamente), de aplicar pressão mecânica ao metal (20) ou um vácuo ao leito de segundo material de enchimento (22), de trabalhar a temperaturas elevadas, tais como temperaturas substancialmente superiores a 1000°C , de purgar o leito de segundo material de enchimento (22) com uma atmosfera de gás inerte ou de outro gás especial ou de utilizar outros expedientes para a infiltração. O processo segundo a presente invenção é muito vantajoso pelo facto de todas as operações, incluindo a preparação do molde (12) (como se descreve adiante), o enchimento do molde (12) com segundo material de enchimento (22) e o aquecimento para efectuar a infiltração, poderem ser realizadas no ar, sem recorrer ao emprego de atmosferas gasosas especializadas, com seus custos e inconveniências associados.

Sem pretender que isso constitua uma restrição, crê-se que a infiltração espontânea do segundo material de enchimento (22) pelo alumínio fundido é obtida porque o ar retido nos interstícios do leito de segundo material de enchimento (22) reage com o alumínio fundido e é consumido por ele, sendo a reposição do ar arrastado e retido impedida pelo molde (12) vedado e impermeável. Contudo, se o ar consumido fosse reposto como ocorreria se o molde (12) fosse permeável ao ar, quer devido a porosidade inerente, quer devido a aberturas, de rachas ou fissuras não vedadas formadas no mesmo, o ar repostado impediria essa infiltração espontânea. Os exemplos comparativos dados mais adiante parece que confirmam esta explicação.

Depois de completada a infiltração do segundo material de enchimento (22), reduz-se a temperatura, por exemplo retirando o conjunto do forno ou desligando o forno deixando o material fundido arrefecer e solidificar dentro do molde impermeável (12). A estrutura compósita (26) resultante que compreende o molde e o núcleo do compósito com matriz de metal, ilustrada na fig. 2, é então separada do conjunto da fig. 1. Como está ilustrado, a estrutura (26) pode incluir substancialmente todo o molde (12) (designado por elemento estrutural, molde ou componente do manto (12!) na fig. 2) ou, se se desejar, apenas uma porção do mesmo, e incluindo além disso o núcleo (28) do compósito com matriz de metal.

A infiltração e a solidificação do metal fundido podem ser realizadas em condições adequadas para efectuar a ligação entre o molde e o núcleo. A ligação pode conseguir-se, por exemplo, obtendo um certo molhamento entre o metal fundi-

do e o molde (12), mantendo o material fundido em contacto directo com as paredes internas do molde (12), controlando a velocidade de arrefecimento (ou seja, alívio das tensões por recozimento), ajustando os coeficientes de dilatação térmica relativos do molde (12) e do compósito com matriz de metal e/ou mantendo uma pressão hidrostática substancial do reservatório de metal para eliminar substancialmente ou reduzir a separação do material fundido que solidifica das paredes do molde. O coeficiente de dilatação térmica do compósito com matriz de metal é maior que o do molde de cerâmica e, se esta diferença for demasiado grande e o molhamento for mínimo, a resistência da ligação não é suficiente para sobreviver à desadaptação da contracção térmica. Isto é, o compósito com matriz de metal, ao arrefecer, pode encolher e separar-se da parede interna do molde. O segundo material de enchimento utilizado na formação do compósito com matriz de metal diminui a dilatação térmica do compósito com matriz de metal, diminuindo portanto a desigualdade de dilatação térmica entre o núcleo e o molde. A acção que o material de enchimento tem sobre a diminuição da dilatação térmica pode depender em grande parte do tipo da geometria e da relação de configuração do material de enchimento. Pode realizar-se uma boa ligação quando os coeficientes de dilatação térmica não forem demasiado diferentes entre si. Preferivelmente, o núcleo da matriz de metal tem um coeficiente de dilatação térmica um pouco maior que o do manto, para induzir tensões de compressão sobre o manto. Constatou-se que partículas de carboneto de silício (24 mesh), substancialmente equiaxiais, numa percentagem de cerca de 47 por cento, em volu

me, como material de enchimento o alumínio, reduzem o coeficiente de dilatação térmica do valor para o alumínio puro (cerca de 25×10^{-6} cm/cm/ °C), para mais ou menos $12-16 \times 10^{-6}$ cm/cm/ °C). Filamentos enredados de carboneto de silício têm o mesmo efeito, mas com cargas muito menores. Assim, controlando uma ou mais condições, o material fundido solidificado, isto é, o compósito de matriz e metal, fica ligado ao componente estrutural (12') da estrutura (26) (fig. 2). Na estrutura (26), o núcleo constituído pelo compósito (28) com matriz de metal é encaixado pelo molde ou componente do manto (12') e ligado ao mesmo.

Como alternativa, pode após o arrefecimento e a solidificação do material fundido, o molde (12') ser fracturado ou removido de outro modo do núcleo (28) de compósito com matriz de metal, para proporcionar este último como um corpo separado liberto do molde (12'). Neste caso, o molde (12') tipicamente é feito o mais fino possível, de maneira compatível com a possibilidade de ser impermeável e manter a integridade estrutural durante o processamento. Também neste caso, o processo deverá ser realizado em condições que minimizem a ligação entre o molde (12') e o núcleo (28) de compósito com matriz de metal para facilitar a recuperação do núcleo. Um revestimento adequado (não representado na fig. 1) pode ser colocado ao redor do molde (12), durante o enchimento e o processamento a fim de o reforçar e suportar mecanicamente.

Referindo outra vez a fig. 1, em vez de se proporcionar meios de vedação apropriados, tais como um anel de vedação (24), pode formar-se a câmara de depósito (16) integrada com o

molde impermeável (12), utilizando por exemplo uma ou mais das técnicas descritas nos pedidos de patente do mesmo proprietário. Após o arrefecimento e a solidificação do material fundido pode separar-se o produto desejado, por corte, do molde/reservatório integrados. Por exemplo, na fig. 3 estão representados um molde/reservatório integrados, representando esta figura uma outra forma de realização de um conjunto utilizável segundo a presente invenção. Um corpo oco, designado genericamente por (30), com qualquer configuração desejada, compreende um manto exterior de material cerâmico impermeável, tal como um material cerâmico composto fabricado pelas técnicas dos pedidos de patente do mesmo proprietário descritas mais adiante. Além disso, é possível formar um manto exterior de material cerâmico impermeável pelos processos descritos no pedido de patente americano do mesmo proprietário, copendente, N^o908 119, depositado em 16 de Setembro de 1986, em nome de Ratnesh K. Dwivedi e intitulado "Porous Ceramic Composite with Dense Surface", cuja matéria é aqui incorporada por referência. O corpo oco (30), com uma secção transversal mais ou menos em forma de traveseiro, tem uma borda periférica circular (30a) em torno da sua porção de corpo principal e um veio cilíndrico (30b) alinhado coaxialmente e um cubo (30c) estendendo-se a partir de lados opostos do mesmo. O veio (30b) tem uma boca (30b) que alarga para fora, proporcionando uma estrutura em forma de funil dentro da qual pode colocar-se alumínio fundido (20') em cima de um leito (22') de segundo material de enchimento e em contacto com o mesmo. A boca (30b) constitui a única abertura do corpo oco (30) e está vedada em relação à atmosfera ambien

te ou ar pela coluna de alumínio fundido (20'), vedando assim efectivamente de maneira hermética o segundo material de enchimento (22') do ambiente ou ar externo.

A infiltração espontânea do segundo material de enchimento (22') realiza-se como se descreveu com referência à forma de realização da fig. 1 e, tal como na forma de realização da fig. 1, o depósito de metal fundido (20') poderá ser a testado, como for necessário para proporcionar metal de alumínio suficiente para completar a infiltração e manter uma coluna (20') do metal de alumínio para manter a boca (30d), a única entrada ou abertura do corpo oco (30), vedada contra o ar ambiente, até se completar a infiltração espontânea. Após a solidificação em condições de ligação do material fundido obtido por infiltração de segundo material de enchimento (22'), é proporcionada uma estrutura que compreende o corpo oco (30) como componente estrutural que encaixa um compósito de matriz metálica. Em alternativa, pode remover-se o corpo oco (30), por exemplo fracturando-o, para proporcionar corpo compósito com matriz metálica, cuja superfície exterior reproduz inversamente a forma ou a geometria da superfície interior do corpo oco (30). Após a solidificação, pode cortar-se a estrutura resultante ao longo da linha (C - C), para proporcionar uma estrutura que termina com o veio (30b). O alumínio ressolidificado pode ser deixado dentro do veio (30b) ou, em alternativa, pode remover-se parcial ou totalmente o alumínio ressolidificado dentro do eixo mecânico (30b) e substituir-se por outro material, tal como um outro metal que pode ser introduzido sob a forma fundida e deixado solidificar no seu interior.

4

Como outra alternativa, o veio (30b) poderia ter sido parcial ou totalmente preenchido inicialmente com segundo material de enchimento (22'), de modo que o compósito com matriz metálica resultante se estendesse através do veio (30b). No último caso, utiliza-se uma extensão do veio (30b) ou um vaso de reservatório separado (semelhante ao reservatório (16) da forma de realização da fig. 1), para conter o metal alumínio fundido.

A fig. 4 mostra uma outra técnica para a condução da infiltração espontânea de um segundo material de enchimento, na qual um vaso refractário (32) contém um corpo de alumínio fundido (20") dentro do qual se mergulha um recipiente perfurado refractário (34). O recipiente (34) fica distanciado das paredes internas (não numeradas) do vaso refractário (32), de modo que o recipiente perfurado (34) e o seu conteúdo ficam completamente protegidos ou vedados por metal alumínio fundido (20") contra a atmosfera ambiente. O recipiente perfurado (34) tem um certo número de furos (36) nele abertos e é suportado por um cabo ou haste (38), nele fixado por um dispositivo de ligação (40) apropriado. Uma massa de segundo material de enchimento contida dentro de um molde apropriado que possui uma ou várias aberturas, está dentro do recipiente (34). (O molde e o segundo material de enchimento não são visíveis na fig. 4). Os furos (36) proporcionam uma entrada para o alumínio fundido (33) para dentro do recipiente (34) para estabelecer contacto com a massa de segundo material de enchimento nele contida e para a consequente infiltração espontânea. O recipiente perfurado (34), o cabo ou haste (38) e o dispositivo de ligação (40) podem ser feitos de um material refractário

apropriado capaz de resistir ao contacto prolongado com o alu
mínio fundido (33). Se se desejar, pode eliminar-se o recipi-
ente (34), mergulhando-se ou imergindo-se o molde com uma a-
bertura no topo e contendo o segundo material de enchimento
no metal fundido. Prossegue então a infiltração, podendo recu-
perar-se o corpo compósito com matriz metálica, como atrás se
descreveu.

As fig. 5 a 9 ilustram a preparação de um molde cerâ-
mico impermeável de acordo com a prática da presente invenção,
devendo no entanto entender-se que o processo para a prepara-
ção do molde é aplicável a outras formas de realizações da pre-
sente invenção. O molde assim proporcionado, como atrás se men-
cionou, pode ser fracturado para recuperar do mesmo o compósi-
to com matriz metálica solidificado, ou ser mantido como com-
ponente estrutural do produto unido ou ligado ao compósito com
matriz de metal.

Pedidos de patente do mesmo proprietário

As técnicas para a produção destes materiais cerâmi-
cos atrás descritos são apresentados num certo número de pedi-
dos de patente do mesmo proprietário, concedidos ao cessioná-
rio da presente invenção, que descrevem processos novos para
obter materiais cerâmicos auto-suportados, incluindo materiais
compósitos de cerâmica auto-suportados, nos quais a cerâmica
se encaixa num primeiro material de enchimento apropriado.

O processo de desenvolvimento de um produto cerâmi-
co de oxidação está descrito genericamente na patente america-
na do mesmo proprietário N^o 4 713 360 (a qual corresponde ao

4

pedido de patente europeu N^o 0155831, publicado em 25 de Setembro de 1985), em nome de Marc S. Newkirk, et al, e intitulado "Novel Ceramic Materials and Methods of Making the Same".

Esta descoberta de um fenómeno de oxidação, que pode ser reforçado pelo uso de um contaminante como elemento de liga do metal original, proporciona corpos cerâmicos auto-suportados desenvolvidos sob a forma do produto da reacção de oxidação do metal original precursor.

Um desenvolvimento ulterior proporciona um novo processo para a produção de um compósito cerâmico auto-suportado pelo desenvolvimento do produto da reacção de oxidação a partir de um metal original para o interior de um leito permeável de material de enchimento, como se descreve no pedido de patente americano do mesmo proprietário N^o 819 397, depositado em 17 de Janeiro de 1986 (o qual corresponde ao pedido de patente europeu N^o 0193292, publicado em 3 de Setembro de 1986), como adição do N^o 697 878, depositado em 4 de Fevereiro de 1985 (a agora abandonado), ambos em nome de Marc S. Newkirk, et al, e intitulados "Composite Ceramic Articles and Methods of Making Sames".

Os processos anteriores foram aperfeiçoados com uso de contaminantes externos aplicados à superfície do metal original precursor, como se descreve no pedido de patente americano do mesmo proprietário N^o 822 999, depositado em 27 de Janeiro de 1986 (o qual corresponde ao pedido de patente europeu N^o 0169067, publicado em 22 de Janeiro de 1986), em nome de Marc S. Newkirk, e intitulado "Methods of Making Self-Supporting Ceramic Materials".

A técnica de produção de materiais compósitos de ce
râmica auto-suportados, incluindo em si um material de enchi -
mento, como se descreve no referido pedido de patente N^o
819 397 é utilizável, mas não proporcionou a comunicação de
uma forma ou geometria previamente escolhida ao corpo compósi
to de cerâmica resultante. Contudo, este requisito foi satis
feito por aperfeiçoamentos posteriores nos processos anterio -
res, que permitem a formação de estruturas compósitos de cerâ
mica que reproduzem inversamente o desenho em positivo do me
tal original precursor. Estes processos estão descritos no pe
dido de patente americano N^o 823 542, depositado em 27 de Ja
neiro de 1986, do mesmo proprietário (o qual corresponde ao pe
dido de patente europeu N^o 0234704, publicado em 2 de Setem -
bro de 1987), em nome de Marc S. Newkirk, et al, intitulado
"Inverse Shape Replication Method of Making Ceramic Composite
Articles and Articles Obtained Thereby", e no pedido de paten
te americano N^o 896 157, depositado em 13 de Agosto de 1986,
do mesmo proprietário, em nome de Marc S. Newkirk e intitula
do "Method of Making Ceramic Composite Articles with Shape Re
plicated Surfaces and Articles Obtained Thereby". A reprodu -
ção inversa de formas pelo uso de um corpo consumível como mol
de está também descrita no pedido de patente americano do mes
mo proprietário N^o 907 919, depositado em 16 de Setembro de
1986, em nome de Andrew W. Urquhart, et al, e intitulado "Me
thod of Making Ceramic Composite Articles by Inverse Shape Re
plication of an Expendable Pattern".

Foram desenvolvidos ainda outros processos para o fa
brico de corpos ou estruturas compósitos de cerâmica com uma

forma ou geometria previamente escolhida. Estes processos incluem a utilização de um pré-molde modelado de material de enchimento permeável para cujo interior se desenvolve a matriz de cerâmica, por oxidação de um precursor de metal original, como se descreve no pedido de patente americano do mesmo proprietário N^o 861 625, depositado em 8 de Maio de 1986 (o qual corresponde ao pedido de patente europeu N^o 0245192, publicado em 11 de Novembro de 1987), em nome de Marc S. Newkirk, et al e intitulado "Shaped Ceramic Composites and Methods of Making the Same". Um outro processo para o fabrico destes compósitos de cerâmica modelados inclui a utilização de um meio de barreira para interromper ou inibir o desenvolver do produto da reacção de oxidação num limite escolhido para definir a forma ou geometria da estrutura compósita de cerâmica. Esta técnica está descrita no pedido de patente americano do mesmo proprietário N^o 861 024, depositado em 8 de Maio de 1986 (o qual corresponde ao pedido de patente europeu N^o 0245193, publicado em 11 de Novembro de 1987), em nome de Marc S. Newkirk, et al e intitulado "Method of Making Shaped Ceramic Composites with the Use of a Barrier".

A utilização de um reservatório do metal original para facilitar o fabrico de corpos compósitos ou estruturas de cerâmica, em particular corpos ou estruturas modeladas foi ainda um outro aperfeiçoamento, que consiste em proporcionar um reservatório do metal original em comunicação hidráulica com o corpo de metal original como precursor para a reacção de oxidação. Refazendo o abastecimento de metal original, a técnica permite o crescimento de grandes volumes de produto da

reação de oxidação, a partir de zonas que permitem conter apenas quantidades limitadas de metal original. A técnica de alimentação a partir de um reservatório está descrita no pedido de patente americano do mesmo proprietário N^o 908 067, depositado em 16 de Setembro de 1986, em nome de Marc S. Newkirk, et al e intitulado "Reservoir Feed Method of Making Ceramic Composite Structures and Structures Made Thereby".

As descrições completas de todos os pedidos de patente americanos do mesmo proprietário são aqui expressamente incorporados por referência.

Na presente invenção, o material de enchimento para cujo interior cresce o produto da reação de oxidação, segundo as técnicas de um ou mais dos pedidos de patente do mesmo proprietário atrás descritos, para proporcionar o molde comp^osito de cerâmica impermeável ao ar, é designado por primeiro material de enchimento, para o distinguir do segundo material de enchimento para cujo interior o alumínio ou o magnésio fundido se infiltra espontaneamente para proporcionar o comp^osito com matriz metálica. Muitos materiais são apropriados para ser usado qualquer dos materiais de enchimento, o primeiro e o segundo; por conseguinte, num dado caso, os primeiro e segundo materiais de enchimento podem ser iguais ou diferentes, sendo os materiais de enchimento substancialmente não reactivos com metal original fundido e com alumínio ou magnésio fundidos nas condições do processo.

Fazendo agora referência às fig.5 e 5A, nelas está representado um conjunto (42) para o fabrico de um corpo comp^osito de cerâmica apropriado para ser usado ou como um molde

frágil a partir do qual se recupera o compósito com matriz metálica, ou como um molde/componente estrutural ligado ao compósito com matriz metálica. O conjunto (42) inclui um recipiente (44) como meio de barreira, que tem uma configuração substancialmente cilíndrica e tem uma superfície interna definida por uma grelha (46) (como se vê melhor na fig. 5A), contida dentro de um cilindro perfurado (48) e reforçada pelo mesmo, o qual serve como elemento rígido exterior de reforço da grelha cilíndrica (45). Uma folha de metal perfurada, tal como uma folha de aço inoxidável perfurada, pode substituir a grelha (46). O cilindro perfurado (48) tem em toda a sua superfície um padrão de furos (50) e é suficientemente rígido para conservar durante o processamento a forma de uma massa ou corpo de um primeiro material de enchimento (52), que pode ser um material de enchimento moldável, isto é, que pode compreender partículas, filamentos enredados, fibras ou similares numa massa cuja forma se adapta à forma do corpo (66) de metal original encaixado no interior do leito de primeiro material de enchimento (52). O primeiro material de enchimento moldável (52) também se adapta à forma do interior da grelha cilíndrica (46). O leito de primeiro material de enchimento moldável (52) é assim constituído por um pré-molde permeável com uma cavidade com configurações desejadas nele formada por um corpo (66) de metal original, sendo a cavidade no início cheia pelo corpo de metal original. Numa outra forma de realização, o primeiro material de enchimento (52) pode ser previamente modelado como uma massa coerente, por exemplo por processos convencionais tais como moldação por uma pasta fluida ou similares, por uti

lização de partículas, fibras, pós, etc., que podem incluir a adição de um ligante apropriado para proporcionar resistência em verde. Neste caso, o metal original pode ser introduzido na cavidade do pré-molde no estado fundido.

As aberturas (não numeradas) da grelha (46) alinham-se com muitos dos furos (50) no cilindro (45), de modo que o recipiente (44) do meio de barreira fica aberto para a entrada no mesmo da atmosfera circundante. Um certo número de abraçadeiras angulares (54) de aço inoxidável está colocado em pontos distanciados ao redor da periferia da superfície externa do cilindro (48) e mantidos no lugar por meio dos anéis de fixação (56) que servem para reforçar estruturalmente o conjunto (42). O anel de fixação (56) mais baixo está parcialmente cortado e eliminado na fig. 5, e os anéis de fixação (56) restantes da fig. 5 e os ilustrados na fig. 5A, estão representados em corte transversal. Uma base (58) fecha o fundo no recipiente (44) do meio de barreira. Uma massa de reservatório (60) de metal original está disposto dentro do leito (62) de material inerte, que está colocado dentro da porção superior do recipiente (44) do meio de barreira e está separado do leito de primeiro material de enchimento (52), por uma placa (64). O leito (62) de material inerte pode compreender um leito de matéria inerte em partículas (tal como Alundum E1, #90 grit (NORTON CO.), quando for o alumínio o metal original, o qual não permitirá o crescimento para o seu interior do produto da reacção de oxidação policristalino, nas condições do processo.

A placa (64) tem uma abertura central (não numerada) para admitir a passagem através da mesma de uma zona superior

de um corpo (66) de metal original que está encerrado dentro do leito de primeiro material de enchimento (52). Na forma de realização ilustrada, o corpo (66) de metal original tem uma configuração alongada cilíndrica e possui um par de relevos (66a) e (66b) em forma de disco, em localizações no mesmo distanciadas longitudinalmente. O corpo (66) de metal original estende-se assim como um núcleo de metal original dentro do leito de primeiro material de enchimento (52) e em contacto com o mesmo. Um ou mais contaminantes, para facilitar a reação de oxidação do metal original, podem formar uma liga no interior do corpo (66) de metal original e na massa de reservatório (60) de metal original e/ou aplicados externamente ao corpo (66) de metal original e/ou aplicados sobre ou no interior do primeiro material de enchimento (52) pelo menos na vizinhança do corpo (66) de metal original.

Por aquecimento do conjunto (42), na presença de um oxidante até uma gama de temperaturas que se estende desde acima do ponto de fusão do metal original até abaixo do ponto de fusão do produto da reação de oxidação que deve formar-se a partir do mesmo, e mantendo a temperatura dentro dessa faixa com o conjunto (42) exposto a um ambiente oxidante, tal como ar, formar-se-á produto da reação de oxidação na interface entre o corpo (66) de metal original fundido e o leito de primeiro material de enchimento (52). Como se descreve em um ou mais dos pedidos de patente do mesmo proprietário, o oxidante pode ser sólido, líquido ou gasoso, ou uma combinação dos mesmos. Por exemplo, pode utilizar-se o ar em combinação com um oxidante sólido incorporado no primeiro material de enchimento (por exemplo, sílica misturada com material de enchimento de

4

alumina), sofrendo o metal original fundido a oxidação em contacto com ambos os oxidantes. O metal original fundido proveniente do corpo de metal original (66) repostado, como for necessário, a partir do corpo de depósito de metal original (60), é mantido em contacto com o produto da reacção de oxidação em desenvolvimento, o qual é posto em contacto com oxigénio ou outro gás oxidante que passa através dos furos (50) do cilindro (48) e, depois, através da grelha (46) e através do leito de primeiro material de enchimento (52), para ir entrar em contacto com a frente de crescimento do produto da reacção de oxidação. A atmosfera oxidante envolvente será renovada ou repostada, por exemplo, por ar circulante dentro de um forno em cujo interior se coloca o conjunto (42), por exemplo dotando simplesmente o forno com uma ventilação apropriada para entrada de ar. À medida que prossegue a reacção de oxidação, continua a formar-se produto da reacção de oxidação dentro do leito de primeiro material de enchimento (52) na interface entre o oxidante e produto da reacção de oxidação formado anteriormente, continuando a reacção até se encaixar pelo menos uma porção do leito de primeiro material de enchimento (52) dentro do produto da reacção de oxidação.

Se se desejar, pode interromper-se a reacção quando o produto da reacção de oxidação se tiver desenvolvido até aproximadamente as dimensões indicadas pela linha a tracejado (68) na fig. 5. Embora a linha a tracejado (68) esteja traçada com maior ou menor precisão geométrica na fig. 5, deve entender-se que se a reacção de oxidação for interrompida depois de se ter formado uma camada com uma espessura apropriada de

produto da reacção de oxidação policristalino a partir do corpo (66) de metal original, a forma exterior do elemento cerâmico pode ser um tanto irregular, mas isto não afecta adversamente o uso do elemento cerâmico resultante como molde impermeável para a formação do compósito com matriz metálica. Como se explica nos pedidos de patente do mesmo proprietário relevantes, o interior do produto cerâmico desenvolvido reproduz inversamente a forma do corpo (66) de metal original. Como alternativa, pode modelar-se um material de barreira formado por gesso de Paris e carbonato de cálcio ou construído a partir de um material tal como o material da grelha (46), para proporcionar uma cavidade oca substancialmente com a forma da linha a tracejado (68) para interromper ou limitar o crescimento do produto da reacção de oxidação para proporcionar uma concha de material cerâmico com a forma inversa da superfície interna do elemento de barreira até ao qual ele se desenvolveu. Pode desta maneira controlar-se estreitamente a configuração geométrica da superfície exterior da concha compósita de cerâmica resultante, o que torna a concha compósita de cerâmica utilizável, como elemento estrutural permanente unido ao corpo compósito com matriz metálica. Na forma de realização da fig. 5, a configuração geométrica da superfície externa da cerâmica desenvolvida é controlada pela forma do interior da grelha (46).

Se se usar a concha compósita de cerâmica simplesmente como um molde a partir do qual será recuperado o corpo compósito com matriz metálica, a concha é normalmente feita apenas com a espessura necessária para que tenha resistência estrutural suficiente e para que seja impermeável para utilizar no processo. Após a solidificação e o arrefecimento do cor

4

po compósito com matriz metálica, o molde é partido ou separado ou afastado do corpo compósito com matriz metálica. Por exemplo, após o material fundido se ter solidificado mas enquanto o conjunto está ainda a uma temperatura elevada abaixo do ponto de fusão do metal alumínio, por exemplo a uma temperatura de mais ou menos 300-500^oC, pode arrefecer-se rapidamente o corpo compósito com matriz metálica encerrado no molde mergulhando-o num líquido refrigerante, tal como água, de modo que o choque térmico resultante fragmente o fino molde de concha que encerra o corpo compósito com matriz metálica. Como alternativa, pode partir-se o molde por meios mecânicos. As superfícies do corpo compósito com matriz de metal resultante reproduzem substancialmente de maneira inversa a geometria interna do molde. Além disso, pode ser desejável evitar a ligação entre o corpo compósito com matriz metálica e a concha, para facilitar a remoção da concha do corpo compósito.

Quando a concha ou corpo compósito cerâmico ou uma porção dos mesmos servir como componente estrutural do produto final, a concha é unida ou ligada ao compósito com matriz metálica. O componente cerâmico estrutural pode estar previamente modelado com a configuração exigida pela aplicação final desejada. Por exemplo, na forma de realização ilustrada nas fig. 5 e 5A, a reacção de oxidação pode continuar até encaixar a totalidade do leito de primeiro material de enchimento (52) dentro do produto da reacção de oxidação policristalino em desenvolvimento, de modo que o meio de barreiras (44) sirva para interromper ou impedir o crescimento do produto da reacção de oxidação, definindo assim a geometria exterior do

4.

produto final como um cilindro circular. Se o meio de barreira for constituído por uma grelha ou um material perfurado, a su per ff ic i e e x ter i o r o c i l i n d r o c e r â m i c o s e r á r u g o s a o t e x t u r a d a. A superfície exterior do cilindro pode ser maquinada, rec t i f i c a d a, polida ou tratada de maneira análoga. Como alternativa, o meio de barreira (44) poderá ter uma superfície relativamente lisa, conferindo assim uma superfície externa lisa ao corpo compósito. Por exemplo, pode aplicar-se uma pasta se mi - f l u i d a de gesso de Paris (preferivelmente misturado com carbonato de cálcio ou silicato de cálcio), ao limite do leito (52) e deixar-se assentar. A camada em gesso de Paris impede o desenvolvimento do produto da reacção de oxidação policristalino e, após o processo estar completo, a barreira é removi da com facilidade, por exemplo por jacto de areia, raspagem, ou similar, proporcionando assim um compósito com superfície relativamente lisa. Em qualquer dos casos, a concha de cerâmica é dimensionada para proporcionar uma utilidade estrutural e uma boa ligação com o compósito com matriz metálica, de modo a formar uma estrut ura int egr ada.

Se a massa (66) de metal original for adequadamente repostada a partir do corpo de reservatório (60) durante o processo da reacção de oxidação, o interior do corpo cerâmico re s u l t a n t e em forma de manga será preenchido com um núcleo de me t al original. Este metal original pode ser removido enquanto ainda fundido, por simples drenagem ou decantação da manga de cerâmica resultante. Se se deixar ressolidificar o núcleo de metal original fundido, ou se ficar qualquer resíduo metálico que solidifique, pelo menos uma quantidade desejável do metal

que fica pode ser retirado da manga de cerâmica resultante, por maquinagem e/ou por ataque de ácido, por exemplo com uma solução de ácido clorídrico, no caso de um metal original de alumínio, deixando ficar uma manga de cerâmica com um núcleo oco, que reproduz inversamente a forma do corpo (66) de metal original. O núcleo oco pode então servir como cavidade do molde na qual o segundo material de enchimento é posto em contacto com o alumínio ou o magnésio fundidos, para obter o composto com matriz metálica.

As fig. 6 a 8 ilustram esquematicamente a preparação de um molde de cerâmica impermeável preparado pelo processo que inclui a utilização de um corpo de molde consumível. A fig. 6 representa um vaso refractário (70), tal como um vaso de alumina, que contém um leito de primeiro material de enchimento (72), modelável, em cujo interior se enterra um corpo (74) de molde consumível para definir no interior do leito (72), na interface entre o primeiro material de enchimento e o corpo de molde consumível (74), uma parede de cavidade modelada no leito (72). A geometria da parede da cavidade é congruente com a da superfície exterior do corpo de molde consumível (74), isto é, constituindo a reprodução inversa da mesma. O corpo de molde consumível (74), que pode ser feito de qualquer material combustível ou vaporizável apropriado, tal como espuma de polietileno ou cera, tem uma secção central (76) de configuração geral cilíndrica, e uma secção terminal (78) que é axialmente mais curta mas com maior diâmetro que a secção central (76). Um meio de barreira (80) (não necessariamente desenhado à escala), o qual pode ser constituído por uma grelha de aço

inoxidável ou por um cilindro de aço perfurado, define os limites exteriores do corpo compósito cerâmico a preparar. Os meios de barreira (80) podem, em alternativa, ser constituídos por um elemento de gesso de Paris e silicato de cálcio, o qual pode tipicamente ser obtido aplicando uma pasta semi-fluída do material a um substrato ou tira contínua, por exemplo de cartão, e deixando solidificar a pasta semi-fluída. Em qualquer dos casos a construção dos meios de barreira (80) é tal que impedirá o crescimento do produto da reacção de oxidação e definirá assim os limites do produto.

Como se ilustra na fig. 7, o metal original fundido (58) pode ser vazado a partir de um vaso (84) adequado directamente para dentro do corpo de molde consumível (74) enterrado. O metal original fundido vaporiza a espuma de poliestireno ou outro material vaporizável do corpo de molde consumível (74) saindo o material vaporizado do conjunto através do leito de primeiro material de enchimento (72) ou subindo através da mesma zona pela qual se adiciona o metal original fundido, ou através de uma abertura de ventilação separada (não representada) que pode ser proporcionada. Depois de o metal original fundido substituir todo o corpo de molde consumível (74), aquece-se o conjunto até uma temperatura de crescimento na gama acima do ponto de fusão do metal original mas abaixo do ponto de fusão do produto da reacção de oxidação, ou mantém-se a essa temperatura. O oxidante em fase de vapor atravessa os poros do leito permeável de material de enchimento (72) e entra em contacto com o do metal fundido para a sua oxidação para formar um produto da reacção oxidante policristalino, como atrás se descreveu, que se desenvolve através do pré-molde

e estabelece o contacto com o material de barreira (80). Se se desejar, pode incorporar-se um oxidante sólido ou um oxidante líquido no leito (72) ou na porção do leito limitada pela barreira (80). O metal fundido reage com o oxidante no leito, desenvolvendo assim o produto da reacção de oxidação. Podem também usar-se dois ou mais oxidantes em combinação, por exemplo utilizando um silicato reactivo no leito e conduzindo o processo no ar. Se necessário, pode repôr-se o metal original fundido (82) para manter o seu nível na parte superior do leito de material de enchimento (72). Como se preconiza nos pedidos de patente do mesmo proprietário N^o 825 542 e N^o 907 919 atrás mencionados, para impedir que a parede da cavidade alua ou se deforme, o leito de material de enchimento (72) ou pelo menos uma sua zona de suporte (86) que envolve o corpo de molde consumível (74) é intrinsecamente auto-ligante a ou acima da temperatura de auto-ligação que, de preferência se situa próxima mas inferior à temperatura da reacção de oxidação. Assim, depois de ser aquecido até à sua temperatura de auto-ligação, o primeiro material de enchimento (72) ou uma sua zona de suporte (86) do mesmo sinteriza-se ou liga-se a si próprio por outro processo, fixando-se suficientemente no produto da reacção de oxidação em desenvolvimento para proporcionar uma resistência mecânica apropriada ao primeiro material de enchimento que envolve o metal original fundido durante as fases iniciais do desenvolvimento do produto da reacção de oxidação. A resistência mecânica do material de enchimento auto-ligante resiste à pressão diferencial e mantém a integridade estrutural da cavidade até se desenvolver uma espessura do material compósi

to cerâmico suficiente.

Após o produto da reacção de oxidação se ter desenvolvido até ao limite definido pelo meio de barreira (80) o metal fundido (82) residual ou que não reagiu pode ser retirado do molde compósito cerâmico (88) (fig. 8), formado pelo processo. O molde compósito cerâmico (88) tem uma porção de gargalo (90) e uma porção de base (92) de maior diâmetro que a porção de gargalo (90). Define-se uma cavidade de molde (94) dentro do molde (88) com uma abertura (94a) que dá acesso ao mesmo. Como se vê, a cavidade do molde (94) reproduz inversamente a geometria do corpo de molde consumível (74).

Referindo agora a fig. 9, nela está ilustrada uma outra forma de realização na qual um conjunto de um vaso refractário (96) possui um leito permeável de material inerte (98), dentro do qual está enterrado um corpo de metal original sólido (100) e um pré-molde (102) feito com um primeiro material de enchimento. O pré-molde (102) é modelado como um produto coerente, com resistência em verde, suficiente para permitir que ele agüente a manipulação e enterramento no leito de material inerte (98). Assim, as partículas do primeiro material de enchimento podem ser modeladas formando o pré-molde (102), misturando um ligante apropriado com as partículas do primeiro material de enchimento e moldando ou modelando de outro modo o pré-molde (102), a partir das mesmas. O pré-molde (102) pode ser constituído por uma ou várias partes. Por exemplo, a parte de base (102a) do pré-molde (102) pode ter genericamente a forma de uma chávina de modo que a parede (104) da cavidade modelada na mesma defina uma cavidade (106) com a geometria desejada. Uma

parte de cobertura (102b) do pré-molde tem uma abertura (106a) nela formada e está colocada em cima da parte de base (102a). O pré-molde (102) é permeável ao crescimento do produto da reacção de oxidação para a mesma.

O conjunto ilustrado na fig. 9 é aquecido até uma temperatura de desenvolvimento numa gama acima do ponto de fusão do metal original (98) mas abaixo do ponto de fusão do produto da reacção de oxidação a obter a partir do mesmo. Como atrás se observou e como se descreve em pormenor em alguns dos pedidos de patente copendentes do mesmo proprietário, o leito (98) de material inerte não permitirá o desenvolvimento do produto da reacção de oxidação, mas o produto da reacção de oxidação desenvolver-se-á através do pré-molde (102) de primeiro material de enchimento e para o interior do mesmo. A operação é realizada durante um tempo suficiente para a penetração por completo do pré-molde (102) no interior do produto da reacção de oxidação de cerâmica para proporcionar um molde compósito cerâmico com uma cavidade de molde (106) e uma abertura (106a) que lhe dá acesso. Pode também ser necessário proporcionar um meio de barreira (como atrás se descreveu) (150) para impedir ou inibir o crescimento do produto da reacção de oxidação.

Conforme se verá nos exemplos que seguem, dirigidos especificamente para metais de alumínio, os metais de alumínio fundidos infiltram-se espontaneamente na massa permeável de segundo material de enchimento contido dentro do molde impermeável quando a massa está isolada da atmosfera ambiente, ou seja, do ar ambiente. Em geral, o alumínio utilizado na presente invenção pode incluir vários componentes de liga, para propor-

cionar as propriedades mecânicas e físicas desejadas no corpo compósito com matriz metálica. Por exemplo, podem incluir-se aditivos de cobre no metal de alumínio para proporcionar uma matriz que pode ser tratada termicamente para aumentar a rigidez e a resistência.

Exemplo 1

Preparam-se corpos compósitos de cerâmica de forma cilíndrica, impermeáveis ao ar, pelas técnicas dos pedidos de patente do mesmo proprietário atrás descritos. Especificamente, moldaram-se primeiramente pelo processo de moldação com uma pasta fluida três pré-moldes cilíndricos permeáveis ao ar, medindo cada um 15,4 cm (6") de altura e tendo um diâmetro exterior de 5,08 cm (2"), utilizando uma pasta fluida constituída por uma mistura de 49,5%, em peso, de carboneto de silício verde, de 1000 grit (fornecido pela EXOLON-ESK COMPANY, Tonawanda, New York, com a marca registada Carbolon F 1000), 19,8%, em peso, de carboneto de silício verde "100 GL" (fornecido pela SUPERIOR GRAPHITE COMPANY, Chicago, Illinois) e 30,7%, em peso, de água destilada. As dimensões médias das partículas do Carbolon F 1000 eram mais ou menos 4 micrómetros e as do 100 GL cerca de 0,8 micrómetros. A pasta fluida foi preparada moendo primeiro num moinho de bolas o GL 100, água, uma pequena quantidade do "Darvan-7" (fornecido pela R.T. VANDERBLIT AND COMPANY, Norwalk, Connecticut) e uma pequena proporção em alginato de amónio durante uma hora. A quantidade de Darvan-7 adicionada foi de aproximadamente 1,6 gramas por cada 1228 gramas de água utilizada e a quantidade de alginato de amónio foi aproxi

madamente 4 gramas por cada 1228 gramas de água usadas. Depois de esta mistura ter sido moída no moinho de bolas durante uma hora, adicionou-se cerca de metade do total de Carbolon F 1000 à mistura e esta nova mistura foi depois moída no moinho de bolas durante meia hora. Nesta altura adicionou-se o resto do Carbolon F 1000 e moeu-se no moinho de bolas a mistura total durante 24 horas. No fim do período de 24 horas, verificaram-se o pH e a viscosidade e ajustaram adicionando lentamente pequenas quantidades de Darvan-7 até a viscosidade se aproximar de 200-500 (centipoises) e o pH se aproximar de 6-7. Quando isso foi conseguido, moeu-se no moinho de bolas a mistura final durante 48 horas antes de a utilizar como pasta fluida para a moldação.

Secaram-se os cilindros moldados com a pasta fluida a 90°C, num forno, e depois cozeram-se em ar a 1100°C durante dez horas, arrefecendo-se depois até à temperatura ambiente. A velocidade de aquecimento foi de 200°C/hora, enquanto que a velocidade de arrefecimento foi de mais ou menos 100°C/hora. Após a cozedura e o arrefecimento, revestiu-se o interior de cada cilindro com um revestimento de interface de pó de silício de 500 grit (fornecido pela ATLANTIC EQUIPMENT ENGINEERS, Bergenfield, New Jersey). O exterior dos pré-moldes cilíndricos foi coberto com uma camada de barreira constituída por 35%, em peso, de uma pasta semi-fluida de gesso de Paris ("Bondex" fornecido pela INTERNATIONAL INC., Brunswick, Ohio), 15%, em peso, de "Minusil" de 500 grit (U.S. SILICA COMPANY., Berkeley Spring, West Virginia) e 50% de água. Aqueceram-se depois os pré-moldes preparados até 900°C, num forno com aqueci

4.

mento por resistência e vazaram-se depois dentro de cada pré-molde 450 gramas de uma liga de alumínio fundida, a 900°C. A liga de alumínio era formada nominalmente por cerca de 2,5-3,5%, em peso, de zinco, 3-4% de cobre, 7,5-9,5% de silício, 0,8-1,5% de ferro, 0,2-0,3% de magnésio e um máximo de cerca de 0,5% de Ni, 0,01% de Be, 0,01% de Ca e 0,55% de Sn, sendo o restante alumínio. Ar, que se difunde através da barreira e do pré-molde permeáveis, oxidou a liga de alumínio fundida para formar um produto da reação de oxidação policristalino. Esta reação de oxidação continuou durante 100 horas, crescendo durante este tempo o produto da reação de oxidação da liga fundida para o interior de cada um dos pré-moldes cilíndricos e infiltrando-se substancialmente por completo. No fim do período de 100 horas da reação, drenou-se a liga metálica restante para proporcionar cilindros compósitos ocios de cerâmica que eram impermeáveis à atmosfera circundante. Estes cilindros eram fechados numa extremidade e abertos na outra. Enquanto ainda a 900°C, encheu-se parcialmente cada cilindro compósito de cerâmica com um segundo material de enchimento até uma certa profundidade abaixo do seu topo de modo a deixar um volume de 100 mililitros na "borda livre" dentro de cada cilindro, acima do leito do material de enchimento. Os três segundos materiais de enchimento usados nos três cilindros eram constituídos por: (1) um leito com 150 gramas de partículas de carboneto de silício em verde, de 24 grit (Crystolon 39) fornecido pela NORTON COMPANY, (2) um leito com 200 gramas de partículas de Alundum 38, de 24 grit, fornecido pela NORTON COMPANY, (3) um leito com 100 gramas de areia constituída por dióxido de silício em partículas com di

mensões correspondentes a 100 grit, fornecido pela PENNSYLVANIA FROUNDRY SUPPLY AND SAND CO., Filadélfia, Pennsylvania. Vazaram-se cerca de 100 mililitros (ou aproximadamente 220 gramas) de liga de alumínio 1100, nominalmente pura, no estado fundido, na parte superior de cada leito de segundo material de enchimento nos cilindros. As massas de alumínio fundido constantes resultantes preencheram o espaço da borda livre dos cilindros acima dos leitos de material de enchimento e vedaram a única abertura dos cilindros durante todo o processo da infiltração, vedando ou isolando deste modo os leitos de segundo material de enchimento em relação ao ar ambiente. Mantiveram-se os conjuntos a uma temperatura de 900°C , iniciando-se a infiltração espontânea do metal alumínio fundido nos leitos de segundo material de enchimento quase imediatamente e completando-se usualmente dentro de vinte minutos. Depois de ser mantido durante cinco horas a 900°C , interrompeu-se o aquecimento e deixou-se arrefecer os conjuntos até à temperatura ambiente. Obtiveram-se corpos compósitos com matriz metálica compreendendo a liga de alumínio encaixada nos diferentes materiais de enchimento. No entanto, no sistema que utilizou areia como segundo material de enchimento todo o dióxido de silício da areia reagiu com o alumínio infiltrado para formar alumina e metal silício. O metal silício que se libertou através desta reacção dissolveu-se no alumínio fundido para formar uma liga de alumínio-silício. Por conseguinte, o corpo compósito com matriz metálica final obtido através desta reacção era constituído por uma liga de alumínio-silício encaixada num material de enchimento de alumina. Os processos de infiltração atrás descri

4

tos foram realizados numa atmosfera do ar ambiente sem a aplicação externa de vácuo de pressão mecânica, de agentes molhantes nem outras técnicas para facilitar a infiltração.

O Exemplo 1 demonstra, portanto, a formação de compostos com matriz metálica por infiltração espontânea do metal fundido num leito de material de enchimento contendo ar arrastado. A infiltração realizou-se num molde ou recipiente impermeável contendo o segundo material de enchimento, estando o referido molde ou recipiente impermeável hermeticamente vedado contra a atmosfera pelo metal fundido.

Exemplo 2

Encheu-se um cadinho de argila porosa, de 150 mililitros (cadinho DEC~~7~~ 28 1000, fabricado pela J.H. Berge Co., South Plainfield, New Jersey) com 300 gramas de liga de alumínio fundido, com metal original. A liga de alumínio tinha a mesma composição que a primeira liga de alumínio referida no Exemplo 1. Aqueceu-se o conjunto constituído pelo cadinho e a liga de alumínio fundido num forno aquecido por resistência durante três horas a 900°C numa atmosfera de ar, para desenvolver um produto da reacção de oxidação policristalino a partir do metal original de alumínio fundido, para o interior do pré-molde, de acordo com as técnicas dos pedidos de patente do mesmo proprietário atrás descritos. Decantou-se depois o metal original de alumínio fundido restante do cadinho e verificou-se que as superfícies internas do cadinho tinham sido infiltradas por um produto da reacção de oxidação policristalino até uma profundidade de mais ou menos 1 a 2 milímetros, propor

cionando assim um cadinho forrado de cerâmica impermeável ao ar. Deve notar-se que o metal original de alumínio fundido reagiu quer com o ar, quer com o cadinho propriamente dito durante esta infiltração. Ainda a 900°C , colocaram-se 130 gramas de partículas de carboneto de silício em verde com dimensões de 24 grit (Crystolon 39, NORTON COMPANY) dentro do cadinho de 150 mililitros até uma profundidade abaixo do topo do cadinho para proporcionar um leito de material de enchimento de carboneto de silício com um volume na borda livre de mais ou menos 60 mililitros dentro do cadinho acima do leito. Vazaram-se cerca de 130 gramas de alumínio 1100 fundido (nominalmente puro) por cima do leito de material de enchimento de carboneto de silício para proporcionar um corpo estável de alumínio fundido que vedou a parte superior aberta do cadinho e isolou o leito de material de enchimento de carboneto de silício em relação ao ar ambiente. O cadinho cheio foi aquecido até 900°C , no mesmo forno atrás citado neste exemplo, e mantido a 900°C durante um período de 10 horas. Durante esse tempo o metal de alumínio fundido infiltrou-se em todo o leito de material de enchimento de carboneto de silício. Deixou-se depois o conjunto arrefecer suficientemente para solidificar o metal alumínio. Enquanto ainda a aproximadamente 500°C , mergulhrou-se todo o conjunto em água, fracturando assim o cadinho de argila incluindo o fino revestimento cerâmico disposto dentro da superfície interna do cadinho. Recuperou-se um compósito com matriz metálica constituído pela liga de alumínio 1100 encaixando as partículas de carboneto de silício, tendo o compósito uma superfície exterior que substancialmente reprodu-

zia inversamente a forma ou geometria do interior do cadinho original de argila.

O Exemplo 2 mostra que um material poroso, tal como um cadinho de argila, pode ser usado como molde, se se tornar impermeável ao ar pelo desenvolvimento de uma fina camada de produto da reacção de oxidação para o interior do cadinho de argila, sendo o produto da reacção de oxidação produzido por oxidação directa do metal original, com ar, de acordo com os referidos pedidos de patente do mesmo proprietário. A fina camada de material compósito cerâmico impermeável ao ar resultante, tornou o cadinho de argila, de outro modo permeável, impermeável ao ar, permitindo assim que o mesmo seja usado como espaço fechado impermeável e molde para o material compósito com matriz metálica.

Exemplo 3

Repetiu-se o processo do Exemplo 2 duas vezes, utilizando duas ligas de alumínio diferentes e o mesmo tipo de segundo material de enchimento. Na primeira repetição utilizou-se uma liga de alumínio constituída nominalmente por mais ou menos 2,5 - 3,5% em peso, de Zn, 3 - 4% de Cu, 7,5 - 9,5% de Si, 0,8 - 1,5% de Fe, 0,2 - 0,3% de Mg e um máximo de 0,5% de Mn, 0,5% de Ni, 0,001% de Be, 0,01% de Ca e 0,35% de Sn, sendo o restante alumínio, com um segundo material de enchimento constituído por partículas de alumina Alundum 38, de 90 grit, fornecida pela NORTON COMPANY. Formou-se um compósito com matriz metálica constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de alumina. Na segunda repetição, utilizou-se uma li-

ga de alumínio 1100, nominalmente puro, com um segundo material de enchimento de Alundum 38, de 90 grit. Também aqui se formou um compósito com matriz metálica, constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de alumina. Este exemplo mostra que é possível utilizar material de enchimento de alumina com dimensões menores das partículas que o utilizado no Exemplo 2, e obtendo-se ainda os compósitos com matriz metálica segundo a presente invenção. Além disso, este exemplo mostra que é possível utilizar este material de enchimento de alumina mais fino com uma liga de alumínio 1100 e obter ainda os compósitos com matriz metálica segundo a presente invenção.

Exemplo 4

Repetiu-se o processo descrito no Exemplo 1 com um segundo material de enchimento constituído por partículas de carboneto de silício em verde, de 100 grit. A liga de alumínio infiltrante utilizada foi uma liga de alumínio 1100 a que se adicionou cerca de 1%, em peso, de lítio. Formou-se um compósito com matriz de metal constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de carboneto de silício, dentro de cerca de cinco minutos a partir do momento em que se vazou a liga de alumínio fundido na parte superior do leito.

Repetiu-se o processo do presente exemplo com um segundo material de enchimento constituído por carboneto de silício em verde, de 220 grit. Também neste caso se formou um compósito com matriz de metal constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de carboneto de silício dentro de cinco minutos a partir do momento em que se vazou na parte

superior do leito a liga de alumínio fundido.

Este exemplo mostra que é possível formar os compósitos com matriz metálica segundo a presente invenção com segundos materiais de enchimento com dimensões diferentes das partículas, quando se utiliza uma liga de alumínio 1100 contendo cerca de 1%, em peso, de lítio como metal infiltrante.

Exemplo 5

O objectivo das experiências a seguir descritas foi determinar se o revestimento das partículas do material de enchimento com um composto contendo sódio facilitaria a formação do compósito com matriz metálica. Utilizou-se o processo descrito no Exemplo 1 excepto que as partículas de material de enchimento eram constituídas por partículas de carboneto de silício em verde, de 220 grit, com um revestimento de Na_2O . Formou-se este revestimento primeiro embebendo as partículas de carboneto de silício numa solução de hidróxido de sódio, durante 3-4 horas. Essa impregnação formou um revestimento de hidróxido de sódio nas partículas, o qual depois da remoção da solução e da subsequente secagem num forno, se transformou substancialmente num revestimento de Na_2O . Moeram-se estas partículas revestidas com um almofariz e uma mão de almofariz, para eliminar todos os aglomerados que se formaram na secagem. Quando as partículas de carboneto de silício revestidas, ficaram novamente sob a forma de partícula, foram então utilizadas como material de enchimento do processo descrito no Exemplo 1. A liga de alumínio infiltrante descrita no Exemplo 1 utilizada, era nominalmente constituída por 2,5 - 3,5%, em peso, de Zn, 3 - 4%, em pe

so, de Cu, 7,5 - 9,5%, em peso, de Si, 0,8 - 1,5%, em peso, de Fe, 0,2 - 0,3%, em peso, de Mg e um máximo de cerca de 0,5% de Mn, 0,5% de Ni, 0,001% de Be, 0,01% de Ca e 0,35% de Sn, sendo o restante alumínio. Formou-se um compósito com matriz metálica constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de carboneto de silício em verde, de 220 grit. A liga de alumínio não se infiltrou no leito das partículas de carboneto de silício, não se formando, portanto, qualquer compósito com matriz metálica. Este exemplo mostra que é possível utilizar revestimentos de Na_2O nas partículas de material de enchimento para promover a infiltração de uma liga de alumínio nas partículas mesmo mais finas, utilizando o processo segundo a presente invenção.

Exemplo 6

Realizou-se o processo descrito no Exemplo 1 com um segundo material de enchimento constituído por carboneto de silício, de 54 grit e uma matriz de liga de alumínio 1100 a que se adicionaram cerca de 5% de magnésio. Formou-se um compósito com matriz metálica constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de carboneto de silício dentro de cinco minutos a partir do momento em que foi vazado na parte superior do leito a liga de alumínio fundido. O procedimento atrás descrito foi repetido utilizando partículas de carboneto de silício de 90 grit como material de enchimento. Uma vez mais se formou um compósito com matriz metálica constituído pela liga de alumínio encaixando as partículas de carboneto de silício dentro de cinco minutos após ser vazado na parte superior do leito a liga de alumínio fundido.

Exemplo 7

Repetiu-se o processo descrito no Exemplo 1, a três temperaturas de infiltração mais baixas, numa tentativa para determinar a influência da temperatura sobre o tempo de infiltração. Realizaram-se as operações de infiltração a 800°C, 750°C e 700°C, sendo os correspondentes períodos de infiltração de 10 minutos, 40 minutos e 90 minutos, respectivamente. Este exemplo mostra que o tempo necessário para completar a infiltração do metal fundido no leito de material de enchimento aumenta quando diminui a temperatura do processo.

Exemplo 8

Repetiu-se o processo descrito no Exemplo 1 com um material de enchimento de carboneto de silício em verde, de 90 grit. Este material de enchimento era muito mais fino que o material de enchimento de carboneto de silício, de 24 grit, utilizado no Exemplo 2. Formou-se um compósito com matriz metálica constituído pela liga de alumínio 1100 encaixando as partículas de carboneto de silício dentro de cinco minutos após ser vazada na parte superior do leito de material de enchimento a liga de alumínio fundido. O compósito tinha uma superfície exterior que reproduzia inversamente substancialmente a forma geométrica interior do cadinho original de argila. Este exemplo demonstra que é possível utilizar qualidades mais finas do material de enchimento com alumínio 1100 nominalmente puro e ainda obter os compósitos com matriz metálica segundo a presente invenção.

Exemplo 9

Para fins comparativos, este exemplo reproduz as condições do processo segundo a presente invenção, excepto quando se proporciona o isolamento hermético do leito de material de enchimento disposto no pré-molde.

A. Colocaram-se aproximadamente 100 gramas de partículas de carboneto de silício em verde, de 24 grit (Crystolon 39, NORTON COMPANY) como as utilizadas no Exemplo 2, dentro de um cadinho permeável ao ar, de argila-grafite (designado por cadinho "#6" de argila-grafite, da FERRO COMPANY, INC., Buffalo, New York) até uma profundidade abaixo do topo no cadinho para nele proporcionar um leito de material de enchimento, com um volume de borda livre de cerca de 90 milímetros dentro do cadinho, acima do leito. Colocaram-se cerca de 190 gramas da primeira liga de alumínio descrita no Exemplo 1 por cima do leito de material de enchimento de carboneto de silício e colocou-se o conjunto num forno aquecido por resistência e aqueceu-se no ar a 900°C, durante 15 horas, para fundir o alumínio. Utilizou-se liga de alumínio suficiente para manter uma massa estável de metal alumínio fundido por cima do leito de material de enchimento, vedando assim o topo do cadinho de maneira que o material de enchimento fica vedado em relação ao ar ambiente pela liga de alumínio fundido, apenas no topo do cadinho. Após 15 horas a 900°C, deixou-se arrefecer o conjunto para solidificar a liga de metal alumínio. Após a recuperação do conteúdo do cadinho, verificou-se que não se realizou substancialmente qualquer infiltração do metal fundido para o

interior do leito de material de enchimento de carboneto de silício.

B. Repetiu-se a experiência da alínea A excepto que se usou como material de enchimento 50 gramas de partículas de carboneto de silício previamente cozidas com 500 grit (Crystolon 39, NORTON COMPANY), colocadas dentro do cilindro de 100 mililitros de alumina recristalizada (fornecida pela McDANEL REFRACTORY COMPANY, Beaver Falls, Pennsylvania), que foi tornado permeável ao ar fazendo uma racha no fundo do cilindro. Aqueceu-se o conjunto até 900°C, num forno aquecido por resistência e vazaram-se sobre o leito de material de enchimento, mais ou menos 150 gramas de alumínio fundido (nominalmente puro) para cobrir o mesmo com uma massa estável de alumínio fundido, vedando assim a parte superior aberta do cadinho. Este foi mantido no forno durante cinco horas a 900°C, com metal alumínio fundido vedando a abertura, agitando-se depois as partículas de carboneto de silício e o alumínio fundido com uma barra de aço. O carboneto de silício não foi infiltrado nem molhado pelo metal de alumínio fundido, apesar da agitação.

C. Repetiu-se a experiência da alínea B, num cadinho de grafite e argila, permeável ao ar, do tipo descrito na alínea A, cujas superfícies interiores foram revestidas com sulfato de cálcio (gesso de Paris, "Bondez" da INTERNATIONAL INC., Brunswick, Ohio), permeável ao ar de modo a impedir que o produto da reacção de oxidação do alumínio fundido com o ar se desenvolva para o interior das paredes do cadinho, como se descreve no Exemplo 2. Obtiveram-se os mesmos resultados que na alínea B, ou seja, a matriz de material de enchimento de car

boneto de silício, não foi infiltrado nem foi molhado pelo metal de alumínio fundido.

D. Repetiu-se a experiência da alínea B, excepto que, após o período de contacto durante cinco horas, se fez uma liga de 1,5 por cento, em peso, de magnésio com o alumínio fundido. Deixou-se a liga de alumínio-magnésio fundida resul-tante ficar em contacto com o material de enchimento ainda mais três horas, a 900°C. A observação mostrou que não houve substancialmente nenhuma infiltração nem molhamento do materi-ial de enchimento de carboneto de silício pelo metal fundido.

E. Repetiu-se a experiência da alínea B, excepto que se usaram como material de enchimento 50 gramas de partí-culas de carboneto de silício em verde, de 24 grit (Crystolon 39, NORTON COMPANY). Em vez de magnésio, fez-se uma liga com o alumínio fundido de 2 a 3 por cento, em peso, de silício, após o contacto inicial de cinco horas. Deixou-se a liga de a-lumínio-silício resultante fundida permanecer em contacto com o material de enchimento durante ainda mais três horas, a 900°C. A observação mostrou não haver nenhum molhamento nem nenhuma infiltração substancial do material de enchimento de carbone-to de silício pelo metal fundido.

Exemplo 10

Este exemplo descreve um processo para a produção de veios de cames com mantos exteriores de compósito com matriz cerâmica e com núcleos de compósito de matriz metálica. Prepa-raram-se primeiramente pré-moldes do manto exterior do veio de cames, vazando pastas fluidas de moldação dentro de um molde

do veio de cames de gesso de Paris. O molde do veio de cames de gesso de Paris foi fabricado pela HOLLAND MOLD COMPANY, Trenton, New Jersey. A pasta fluida usada neste exemplo tinha uma composição idêntica à da pasta fluida de moldação descrita no Exemplo 1, e foi preparada pelo mesmo processo. As dimensões médias das partículas de 100 G1 eram de cerca de 0,8 micrómetros e as do Carbolon F1000, 4 micrómetros. Secaram-se os pré-moldes do manto exterior do veio de cames moldados com a pasta fluida a 90°C, durante um período mínimo de 4 horas, sendo de 20 horas o período de secagem mais comum. Os pré-moldes feitos por este processo tinham espessuras de aproximadamente cinco milímetros e o seu peso variava entre 380 e 480 gramas, conforme a sua espessura. Estes pré-moldes eram fechados numa extremidade e abertos na outra, tendo a extremidade aberta a forma de um funil.

Após estar completa a fase de secagem, colocaram-se os pré-moldes do veio de cames com o seu lado fechado para cima, num forno e cozeram-se durante 5 - 20 horas a 1025 - 1100°C. A temperatura de cozedura mais frequentemente utilizada foi de 1025°C, durante um período de 20 horas. Elevou-se a temperatura do forno contendo os pré-moldes desde a temperatura ambiente até à temperatura de cozedura durante um período de cinco horas e arrefeceu-se desde a temperatura de cozedura até à ambiente durante um período de cinco horas, no final da operação. Durante este processo de cozedura, cada pré-molde do veio de cames aumentou de peso aproximadamente 11%. A dilatação linear e diametral de cada pré-molde durante a cozedura prévia foi de mais ou menos 3% e o aumento da espessura cerca de 8%.

4

Depois da cozedura, toda a superfície interna de cada pré-molde foi coberta por uma pasta semi-fluida contendo metal silício, 500 grit (ATLANTIC EQUIPMENT ENGINEERS, Bergenfield, New Jersey). A espessura do revestimento variou de um veio de cames para o outro, desde a ausência de qualquer revestimento até um revestimento máximo de aproximadamente 2,54 mm (0,1") de espessura. Variaram-se as espessuras do revestimento para determinar qual a espessura óptima do revestimento, em termos de crescimento uniforme e de velocidade de crescimento. Esta espessura óptima do revestimento foi determinada como estando entre aproximadamente 0,127 a 0,254 mm (0,005" a 0,001"). Após os pré-moldes estarem revestidos com a pasta semi-fluida do metal silício, no interior, secaram-se os pré-moldes e depois revestiram-se no lado de fora com uma pasta semi-fluida constituída por 35%, em peso, de "Bondez" (gesso de Paris, fornecido por INTERNATIONAL, INC., Brunswick, Ohio), 15% de SiO_2 , 500 grit ("Minusil", U.S. SILICA COMPANY, Berkeley Spring, West Virginia) e 50% de água destilada. Secou-se este segundo revestimento num forno a 90°C , durante mais ou menos duas horas e, depois, colocaram-se os pré-moldes num forno e aquecidos desde a temperatura ambiente até 900°C , durante um período de cinco horas. Uma vez atingida a temperatura de 900°C no forno, mantiveram-se os pré-moldes a essa temperatura durante um certo período de tempo antes de vazarem a liga de alumínio fundido dentro de cada pré-molde. O período de tempo entre o momento em que o forno atinge os 900°C e a adição da liga de alumínio fundido variou deliberadamente entre os pré-moldes. Alguns dos pré-moldes receberam a adição da liga de alumínio fundido qua

se logo após a temperatura do forno atingir os 900°C , enquanto que outros só posteriormente. O período máximo que decorreu entre o instante em que a temperatura do forno atingiu os 900°C e a adição da liga de alumínio fundido foi de quatro horas.

A quantidade de liga de alumínio fundido adicionada a cada pré-molde foi de 330 gramas. Esta liga de alumínio tinha a mesma composição da primeira liga de alumínio descrita no Exemplo 1. A liga de alumínio fundido foi introduzida nos pré-moldes vazando-se a liga de alumínio fundido na extremidade aberta do pré-molde, em forma de funil, enquanto o pré-molde estava no forno a 900°C . A forma de funil da extremidade aberta facilitou o vazamento do metal fundido nos pré-moldes e também criou um reservatório do metal fundido. Pelo facto de penetrar ar pelas paredes permeáveis dos pré-moldes, a liga de alumínio fundido oxidou-se. O crescimento do produto da reacção de oxidação que resultou desta oxidação da liga de alumínio fundido, infiltrou-se nas paredes de cada pré-molde, de acordo com as técnicas dos pedidos de patente do mesmo proprietário atrás descritos. À medida que prosseguia o crescimento, a liga de alumínio consumida era repostada com liga de alumínio 1100 a 900°C . O processo do crescimento foi conduzido durante $100 - 150$ horas. Embora a maior parte do crescimento se tenha verificado nas primeiras 30 horas, o tempo de reacção extra produziu um produto mais uniforme em termos da fase de desenvolvimento.

Depois de o produto da reacção de oxidação se ter infiltrado completamente pelas paredes de cada um dos pré-moldes criando os mantos exteriores dos veios de cames de material

4

compósito cerâmico, vazou-se a liga de alumínio para fora dos mantos exteriores, enquanto estes estavam ainda a 900°C . Encheram-se depois os mantos exteriores dos veios de cames de materiais compósitos de cerâmica (ainda a 900°C) com SiC em verde de 24 grit (Crystolon 39, NORTON COMPANY) como segundo material de enchimento e taparam-se com liga de matriz metálica a 900°C . Utilizou-se um certo número de ligas de matriz metálica. Nelas incluem-se a liga de alumínio 1100, a primeira liga de alumínio descrita no Exemplo 1; uma liga de alumínio constituída por liga de alumínio 1100 com 0,25 a 3% de Li acrescentado; uma liga de alumínio constituída por liga de alumínio 1100 a que se adicionaram cerca de 0,5 - 5% de Mg; uma liga de alumínio constituída pela primeira liga de alumínio descrita no Exemplo 1, a que se acrescentaram cerca de 0,25 - 3% de Li e a primeira liga de alumínio descrita no Exemplo 1, a que se acrescentaram cerca de 0,5 a 5% de Mg. Uma vez tapado em cada um dos pré-moldes o leito de SiC com a liga de matriz, verificou-se quase imediatamente a infiltração da liga de matriz dentro do leito e completou-se em mais ou menos 20 minutos. Durante este período de 20 minutos adicionou-se mais liga de matriz, conforme necessário, a cada um dos pré-moldes, de modo que cada um dos leitões estivesse sempre tapado com liga de matriz. Depois de terminado o período de infiltração, arrefeceram-se os veios de cames até à temperatura ambiente, durante um período de 12 - 15 horas, limparam-se, cortaram-se e rectificaram-se segundo a especificação. Os veios de cames desenvolvidos foram limpos por jacto de areia e cortados com um comprimento adequado, utilizando roda abrasiva de corte com diamante. A

rectificação das superfícies cilíndricas foi realizada utilizando rodas de diamante de 100 grit ligadas com resínóide. A rectificação das cames fez-se utilizando rodas de diamante de 220 grit ligadas com resínóide. A taxa de alimentação foi de mais ou menos 0,05 a 0,076 mm (0,002" a 0,003") para o corte e mais ou menos 0,0127 a 0,002 mm (0,0005" a 0,0008") na rectificação. Um veio de cames feito por este processo está representado na fig. 10.

O Exemplo 10 mostra que um dispositivo com uma geometria complexa e complicada pode ser preparada de maneira que tenha uma concha compósita com matriz cerâmica e um núcleo com pósito com matriz metálica. A concha compósita com matriz cerâmica é preparada primeiro por infiltração de um pré-molde mo delado, constituído por um primeiro material de enchimento com o produto da reacção de oxidação de uma liga de alumínio com ar. Depois, prepara-se o núcleo compósito com matriz metálica pela infiltração espontânea do alumínio fundido no interior de um leito hermeticamente vedado de segundo material de enchimento contendo ar arrastado, estando o segundo material de enchimento situado no interior oco da concha compósita de matriz cerâmica. Este procedimento fornece um produto final que tem as propriedades combinadas do compósito com matriz cerâmica e do compósito com matriz metálica.

Os processos segundo a presente invenção são aplicáveis numa ampla variedade de segundos materiais de enchimento, em especial materiais de enchimento de cerâmica e dependendo a escolha do segundo material de enchimento de factores, tais como o metal alumínio ou magnésio específicos utilizados, as

condições do processo usadas, o tipo e as dimensões do segundo material de enchimento e as propriedades pretendidas para o produto compósito com matriz metálica final. Preferivelmente, o segundo material de enchimento, isto é, o agente de reforço ou consolidação do compósito com matriz metálica, não é reactivo com o metal alumínio ou metal magnésio fundidos nas condições do processo. Os segundos materiais de enchimento incluem, por exemplo:

a) óxidos, por exemplo alumina, óxido de magnésio, óxido de titânio, óxido de zircónio e óxido de háfnio;

b) carbonetos, por exemplo carboneto de silício e carboneto de titânio;

c) boretos, por exemplo diboreto de titânio, dodecarboreto de alumínio; e

d) nitretos, por exemplo nitreto de alumínio, nitreto de silício e nitreto de zircónio.

Se houver a tendência para o segundo material de enchimento reagir com o alumínio ou o magnésio fundidos, isto pode ser compensado minimizando o tempo e a temperatura de infiltração ou proporcionando um revestimento não reactivo sobre o material de enchimento. O segundo material de enchimento pode ser constituído por um material tal como carvão ou qualquer outro material não cerâmico, levando um revestimento de cerâmica para proteger o substrato contra o ataque ou a degradação. As cerâmicas particularmente bem adequadas para usar no processo segundo a presente invenção incluem a alumina e o carboneto de silício sob a forma de partículas, plaquetes, filamentos enredados e fibras. As fibras podem ser de filamento descontínuo,



tais como estopas multifilamentadas. Além disso, o segundo material de enchimento pode ser constituído por uma massa ou pré-molde, homogénea ou heterogénea.

O carboneto de silício tende a reagir com o alumínio puro fundido para formar carboneto de alumínio e, se se usar o carboneto de silício como segundo material de enchimento, é de seável impedir ou minimizar esta reacção porque o carboneto de alumínio é susceptível ao ataque pela humidade, o que potencialmente enfraquece o corpo compósito com matriz metálica. Por conseguinte, para minimizar ou impedir esta reacção, o carboneto de silício pode ser pré-cozido no ar para formar sobre o mesmo um revestimento de sílica reactivo, ou pode ligar-se o alumínio com silício, ou ambas as coisas. Em qualquer dos casos, o efeito é aumentar o teor de silício na liga para eliminar a formação de carboneto de alumínio. Podem usar-se processos análogos para impedir reacções indesejáveis com outros segundos materiais de enchimento.

As dimensões e a forma do segundo material de enchimento podem ser quaisquer que possam ser necessárias para obter as propriedades desejadas do produto ou corpo compósito com matriz metálica. Assim, o segundo material de enchimento pode ter a forma de partículas, filamentos enredados, plaquetes ou fibras, visto que a infiltração do segundo material de enchimento pelo metal alumínio fundido não é limitada pela forma da massa de segundo material de enchimento. Podem usar-se outras formas, como sejam esferas, túmulos, pellets, tecido de fibras refractárias e similares. Além disso, as dimensões da massa de segundo material de enchimento não limita a infiltração, embo

ra possam ser necessários uma temperatura mais elevada ou um período de tempo mais longo para a infiltração completa de uma massa de partículas menores que no caso de partículas maiores. O segundo material de enchimento pode ter a sua densidade de vazamento ou ser comprimido até uma densidade modesta.

Em comparação com a tecnologia convencional dos com pó sitos com matriz metálica, a presente invenção evita a nece sidade de atmosferas gasosas especiais ou de altas pressões, altas temperaturas, vácuo aplicado externamente ou pressão me cânica para forçar o alumínio ou magnésio fundidos para dentro do segundo material de enchimento. A presente invenção per mite a operação em atmosferas com ar ambiente e a obtenção de compósitos com matriz de metal alumínio ou de compósitos com matriz de metal magnésio com uma ampla variedade de segundos materiais de enchimento, uma gama de cargas do segundo materi al de enchimento e com porosidade reduzida.

Exemplo 11

Este exemplo ilustra uma variante do processo para a produção de uma peça modelada com matriz de metal. Neste caso, revestiu-se um molde de espuma de 10,16 x 5,08 x 2,54 cm (4" x 2" x 1") com uma pasta fluida de Leecote [®] (LX-60, ACME RESIN CORP., Madison, Ohio), por imersão do molde numa taça con tendo o Leecote [®]. Retirou-se depois o molde com uma fina co bertura do Leecote [®] aderente às superfícies exteriores do mes mo. Borrifou-se o molde, enquanto ainda pegajoso, com Alundum 38 de 90 grit, o qual aderiu ao revestimento de Leecote [®]. Se cou-se o molde com o revestimento de Leecote [®] e repetiu-se

várias vezes o processo de imersão-revestimento com Leecote^(R) e aspersão com Alundum 90 para se obter um revestimento no molde de espuma com uma espessura de aproximadamente 3,175 mm (1/8") de Leecote^(R)/Alundum 38 grit. Secou-se depois o molde revestido e aqueceu-se até mais ou menos 900°C, durante um período de quatro horas. O molde de espuma volatiliza-se durante o processo de aquecimento, deixando assim ficar uma cavidade que reproduz inversamente a forma exterior do molde de espuma.

Depois da volatilização substancialmente completa da espuma vazou-se uma liga do metal original fundido, nominalmente constituída por, aproximadamente, em peso: 2,5 - 3,5% de Zn, 3 - 4% de Cu, 7,5 - 9,5% de Si, 0,8 - 1,5% de Fe, 0,2 - 0,3% de Mg e um máximo de cerca de 0,5% de Mn, 0,5% de Ni, 0,01% de Be, 0,01% de Ca, 0,35% de Sn, sendo o restante alumínio, na cavidade resultante e sujeitou-se à oxidação durante 24 horas para obter um molde impermeável para a formação do corpo compósito com matriz metálica. Assim, o molde foi formado pelas técnicas dos pedidos de patente americanos do mesmo proprietário atrás descritos. Depois drenou-se a liga do metal original residual, ou seja, a liga do metal original que não se converteu no produto da reacção de oxidação, drenado do molde modelado e encheu-se o molde com aproximadamente 166 gramas de carboneto de silício, de 24 grit (Crystolon 39, NORTON COMPANY) e tapou-se com 100 gramas de liga de alumínio nominalmente constituída, em peso, por: 2,5 - 3,6% de Zn, 3 - 4% de Cu, 7,5 - 9,5% de Si, 0,8 - 1,5% de Fe, 0,2 - 0,3% de Mg e um máximo de cerca de 0,5% de Mn, 0,5% de Ni, 0,01% de Be, 0,01% de Ca e 0,35% de Ca, sendo o restante alumínio. Esta liga de alumínio infil

trou-se no leito após cerca de cinco minutos, fornecendo um com
pósito com matriz metálica contido dentro do molde impermeável.
Arrefeceram-se o molde e o seu conteúdo até abaixo dos 550°C e
depois arrefeceram-se rapidamente em água, para fracturar o mol
de devido às tensões térmicas induzidas pelo choque térmico. O
compósito com matriz metálica modelado resultante tinha substan
cialmente a mesma forma que o molde de espuma inicial. Assim,
este exemplo ilustra um processo para a produção de componen
tes com matriz metálica de forma complexa. Espera-se que pos
sam também usar-se, em vez de um molde de espuma ou de cera,
também outros moldes para proporcionar substancialmente os mes
mos resultados.

R e i v i n d i c a ç õ e s

1.- Processo para a produção de um compósito com matriz metálica, caracterizado por compreender:

a) a formação de um molde substancialmente impermeável nas fases que compreendem;

(i) proporcionar um pré-molde permeável com uma cavidade e constituído por um primeiro material de enchimento;

(ii) pôr em contacto um metal original fundido com o referido pré-molde e com um oxidante para fazer reagir o metal original fundido com o referido oxidante para formar um produto da reacção de oxidação dentro de uma gama de temperaturas que se estende desde uma temperatura acima do ponto de fusão do referido metal original até uma temperatura abaixo do ponto de fusão do referido produto da reacção de oxidação;

(iii) manter pelo menos uma porção do referido produto da reacção de oxidação em contacto com o referido metal original fundido e o referido oxidante, e estendendo-se entre os mesmos, para progressivamente transportar metal original através do produto da reacção de oxidação no sentido do oxidante e para dentro do referido pré-molde, de maneira que o produto da reacção de oxidação continue a formar-se dentro do referido pré-molde na interface do referido oxidante e do produto da reacção de oxidação formado anteriormente;

(iv) continuar a referida reacção de oxidação na referida gama de temperaturas para infiltrar pelo menos uma porção do referido pré-molde dentro do referido produto da reacção de oxidação, por desenvolvimento do produto da reacção de oxidação, proporcionando assim um molde impermeável com a referida cavidade; e

(v) remover pelo menos uma porção do metal em excesso da referida cavidade, o qual não reagiu com o referido oxidante para formar produto da reacção de oxidação.

b) colocação de uma massa permeável de um segundo material de enchimento na referida cavidade do referido molde impermeável e a colocação da referida massa do segundo material de enchimento em contacto com pelo menos um metal fundido escolhido no grupo, formado pelo alumínio e o magnésio;

c) vedação hermética do conteúdo no molde durante um intervalo de tempo suficiente para infiltrar espontaneamente a referida massa do segundo material de enchimento com o referido pelo menos um metal fundido;

d) depois de completada a fase c), solidificação do referido pelo menos um metal fundido para proporcionar o referido compósito com matriz metálica.

2.- Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por incluir a utilização do referido pelo menos um metal fundido para efectuar a vedação hermética da fase c).

3.- Processo para a produção de um compósito com matriz metálica, caracterizado por compreender:

(a) a formação de um molde substancialmente impermeável, nas fases que compreendem:

(i) proporcionar um pré-molde permeável constituído por um primeiro material de enchimento e tendo no mesmo uma cavidade e pelo menos uma abertura numa sua superfície exterior;

(ii) pôr um metal original fundido em contacto com o referido pré-molde e com um oxidante para fazer reagir metal original fundido com o referido oxidante, numa gama de temperaturas que se estende desde uma temperatura acima do ponto de fusão do referido metal original até uma temperatura abaixo do ponto de fusão do referido produto da reacção de oxidação;

(iii) manter pelo menos uma porção do referido produto da reacção de oxidação em contacto com o referido metal original fundido e o referido oxidante, e estendendo-se entre os mesmos, para progressivamente transportar metal original fundido através do produto

da reacção de oxidação no sentido do oxidante e para dentro do referido pré-molde de maneira que o produto da reacção de oxidação continue a formar-se dentro do referido pré-molde, na interface do referido oxidante e do produto da reacção de oxidação formado anteriormente; e

(iv) continuar a referida reacção de oxidação na referida gama de temperaturas para infiltrar pelo menos uma porção do referido pré-molde que envolve a referida cavidade no interior do referido produto da reacção de oxidação pelo crescimento do produto da reacção de oxidação para proporcionar assim o referido molde impermeável com a referida cavidade e a referida pelo menos uma abertura;

(v) retirar pelo menos uma porção do metal em excesso da referida cavidade o qual não reagiu com o referido oxidante para formar produto da reacção de oxidação;

b) colocação da massa permeável do segundo material de enchimento dentro da referida cavidade do referido molde impermeável;

c) introdução de pelo menos um metal fundido escolhido no grupo consituído pelo alumínio e o magnésio dentro da referida pelo menos uma abertura, para vedar hermeticamente a referida massa do segundo material de enchimento dentro da referida cavidade e aí pôr o referido segundo material de enchimento em contacto com o referido pelo menos um metal fundido durante um intervalo de tempo suficiente para infiltrar espontaneamente a referida massa do segundo material de enchimento com o referido pelo menos um metal fundido, proporcionando assim material fundido que contém o refe-

rido segundo material de enchimento nele disperso; e

d) depois de terminar a fase (c), solidificação do referido pelo menos um metal fundido para proporcionar o referido compósito com matriz metálica.

4.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por o referido primeiro material de enchimento compreender um material escolhido no grupo formado por alumina e carboneto de silício, por o referido metal original compreender o alumínio, por o referido segundo material de enchimento compreender o carboneto de silício e por o referido pelo menos um metal fundido na etapa (b) compreender o alumínio.

5.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por incluir na fase (a) (iv), a inclusão no interior do referido produto da reacção de oxidação de pelo menos uma porção do referido pré-molde que define a referida cavidade.

6.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por o contacto na fase (a) (ii) ser efectuado no interior da referida cavidade do referido pré-molde permeável.

7.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações

1, 2 ou 3, caracterizado por na fase (a) (v) o referido metal em excesso ser retirado da referida cavidade sob a forma de metal original fundido.

8.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por incluir a definição de pelo menos uma porção da geometria do referido molde substancialmente impermeável, pela associação de pelo menos um meio de barreira com a referida massa do primeiro material de enchimento para definir pelo menos um limite do crescimento do referido produto da reacção de oxidação.

9.- Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por compreender ainda a definição de pelo menos uma porção da geometria do referido molde substancialmente impermeável pela associação de pelo menos um meio de barreira à referida massa do primeiro material de enchimento para definir pelo menos um limite de crescimento do referido produto da reacção de oxidação.

10.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por a referida massa do primeiro material de enchimento compreender um leito permeável de material de enchimento modelável; e por a referida parede da cavidade modelada no interior do referido leito, ser formada proporcionando um metal original modelado com uma parte do molde em positivo que é modelada

de modo que a reprodução inversa da sua forma define a geometria desejada da referida cavidade do molde e fazendo penetrar pelo menos a referida porção do molde em positivo no interior do referido leito de material de enchimento modelável; e por depois se aquecer o metal de origem encaixado até à referida gama de temperaturas, para moldar com o mesmo o referido metal original fundido em contacto com a referida parede da cavidade moldada.

11.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por a referida massa do primeiro material de enchimento compreender um leito permeável de material de enchimento modelável, por a referida parede da cavidade modelada no interior do referido leito ser formada proporcionando um corpo de molde consumível que é modelado de modo que a reprodução inversa do mesmo define uma geometria desejada da referida cavidade do molde, por se fazer penetrar o referido corpo consumível no interior do referido leito de material de enchimento modelável, por a seguir se substituir o referido corpo de molde consumível por metal original fundido em contacto com a referida parede da cavidade modelada.

12.- Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por a referida massa do primeiro material de enchimento compreender um leito permeável de material de enchimento modelável, por a referida parede da cavidade modelada no referido leito, ser formada proporcionando um metal original modelado com uma secção de molde

em positivo que é formada de modo que a reprodução inversa da mesma define a geometria desejada da referida cavidade do molde, por se fazer penetrar pelo menos a referida porção de molde em positivo dentro do referido leito de material de enchimento modelável, e depois disso se aquecer o metal original encaixado até à referida gama de temperaturas para modelar a partir da mesma o referido metal original fundido em contacto com a referida parede da cavidade formada.

13.- Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por a referida massa do primeiro material de enchimento compreender um leito permeável de material de enchimento modelável, por a referida parede da cavidade formada no referido leito, ser obtida proporcionando um corpo de molde consumível que é modelado de modo que a reprodução inversa do mesmo define a geometria desejada da cavidade do referido molde, por se fazer penetrar o referido corpo de molde consumível dentro do referido leito de material de enchimento modelável e por a seguir se substituir o referido corpo de molde consumível encaixado por metal original fundido em contacto com a referida parede da cavidade modelada.

14.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por incluir a separação do referido composto com matriz metálica do referido molde.

15.- Processo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por incluir a separação do referido compósito de matriz metálica do referido molde, por fractura do mesmo por choque térmico mergulhando o referido molde, enquanto está a uma temperatura elevada, num líquido refrigerante.

16.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por incluir a realização da solidificação da fase (d) em condições de ligação incluindo a manutenção do material fundido em vias de solidificação em contacto com pelo menos uma porção do referido molde impermeável, formando assim o referido compósito com matriz metálica integrado com a referida pelo menos uma porção do referido molde impermeável.

17.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por a referida cavidade ser formada para ter uma geometria escolhida que é reproduzida inversamente pelo compósito com matriz metálica.

18.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por o referido segundo material de enchimento ser escolhido no grupo formado por pelo menos um óxido, um carboneto, um borato ou um nitreto.

19.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações



1, 2 ou 3, caracterizado por o referido metal original compreender um metal original de alumínio.

20.- Processo de acordo com a reivindicação 19, caracterizado por o referido oxidante ser constituído por ar.

21.- Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por o referido oxidante ser constituído por ar.

22.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por o contacto do referido alimínio fundido com o referido segundo material de enchimento ser realizado a uma temperatura compreendida entre cerca de 700°C e 1000°C.

23.- Processo de acordo com a reivindicação 22, caracterizado por a referida gama de temperaturas estar compreendida entre mais ou menos 850°C e 950°C.

24.- Processo de acordo com a reivindicação 4, caraterizado por a referida gama de temperaturas estar compreendida entre mais ou menos 850°C e 950°C.

25.- Processo de acordo com uma qualquer das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado por o referido metal original fundido ser constituído por alumínio, o referido segundo material de enchimen

4.

to ser constituído por partículas de carboneto de silício e por as referidas partículas de carboneto de silício estarem revestidas com Na_2O ,

Lisboa, 10 de Janeiro de 1989
O Agente Oficial da Propriedade Industrial

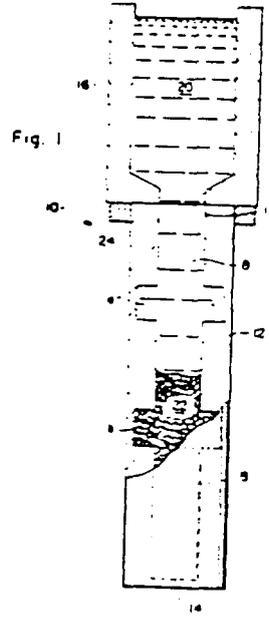
António Carlos

R E S U M O

"Processo para o fabrico de compósitos com matriz metálica"

A invenção refere-se a um compósito com matriz metálica de alumínio, que compreende uma matriz de metal de alumínio que se encaixa num segundo material de enchimento, tal como um segundo material de enchimento de cerâmica, e que é modelado pondo por exemplo, um metal de alumínio fundido em contacto com uma massa permeável do segundo material de enchimento dentro de um molde de cerâmica impermeável, formado pelo crescimento de um produto da reacção de oxidação policristalino para o interior do primeiro material de enchimento. Vedando hermeticamente o segundo material de enchimento dentro do molde com uma massa de metal de alumínio fundido, este último infiltra-se espontaneamente na massa do segundo material de enchimento, a temperaturas moderadas, por exemplo de cerca de 900°C, sem serem necessários quaisquer outros expedientes de infiltração, solidifica-se a massa fundida contendo o material de enchimento de cerâmica infiltrado para proporcionar o compósito com matriz metálica que pode ser recuperado do molde. Optativamente, a solidificação é realizada em condições de ligação, que incluem a manutenção do material em solidificação em contacto directo com o molde de cerâmica, para proporcionar o compósito com matriz metálica unido ao molde ou fazendo parte do mesmo, como um componente estrutural.

4.



Lisboa, 10 de Janeiro de 1989

Com a devida apreciação e respeito.

António