

DESCRIÇÃO
DA
PATENTE DE INVENÇÃO

N.º 95.732

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

EPÍGRAFE: "Materiais antibalísticos e processos para a fabricação dos mesmos"

INVENTORES: Marc Stevens Newkirk,
Andrew Willard Urguhart,

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

U.S.A., 30 de Outubro de 1989, sob o N.º.: 07/428,972

LANXIDE TECHNOLOGY COMPANY, LP

"MATERIAIS ANTIBALÍSTICOS E PROCESSOS
PARA A FABRICAÇÃO DOS MESMOS"

Campo da invenção

A presente invenção refere-se a materiais compósitos novos e aos processos para a fabricação dos mesmos. Especificamente, estes materiais compósitos novos podem ser usados como material de blindagem.

Fundamento da invenção

A técnica anterior está repleta de soluções diferentes para a produção de materiais de blindagem. Especificamente, foram feitas muitas tentativas para a fabricação de blindagem metálicas e de blindagens cerâmicas, bem como de blindagens compósitas. Porém, existe ainda a necessidade de produzir um material de blindagem fiável que seja relativamente barato e simples de fabricar.

Os sistemas de blindagem convencionais também incluem estruturas laminadas, que incluem vários materiais, tais como camadas de metal, de cerâmica e/ou de compósitos. Porém, existe a necessidade de proporcionar melhores materiais de blindagem, tendo uma eficácia antibalística desejável, que possam ser fabricados a baixo custo e en-

volvendo técnicas de fabrico simples.

Discussão de patentes de invenção e pedidos de patente de invenção do mesmo proprietário

Descreve-se um processo novo para a formação de um compósito com matriz de metal por infiltração de uma massa permeável de material de enchimento contido num molde compósito de matriz de cerâmica no pedido de patente americano do mesmo proprietário Nº 142 385, depositado em 11 de Janeiro de 1988, por Dwivedi et al, e intitulado "Method of Making Metal Matrix Composites", agora concedido nos Estados Unidos. De acordo com o processo de Dwivedi et al, forma-se um molde pela oxidação directa de um metal precursor fundido, ou metal original, com um oxidante, para desenvolver ou fazer crescer um produto da reacção de oxidação policristalino que embebe pelo menos uma porção de um pré-molde constituído por um material de enchimento apropriado (designado por "primeiro material de enchimento"). O molde formado de compósito de matriz cerâmica é depois provido de um segundo material de enchimento, sendo o segundo material de enchimento e o molde postos em contacto com metal fundido, vedando-se hermeticamente os conteúdos do molde, o mais tipicamente introduzindo pelo menos um metal fundido na entrada ou abertura que veda o molde. O leito hermeticamente vedado pode conter ar retido, mas o ar retido e o conteúdo do molde estão isolados ou vedados de modo a excluir ou não deixar entrar o ar exterior ou ar ambiente. Proporcionando um ambiente herético, consegue-se obter a infiltração efectiva do segundo material de enchimento a temperaturas moderadas do metal fun

dido, obviando-se, ou eliminando-se, portanto a necessidade de agentes molhantes, ingredientes especiais de liga no metal da matriz fundido, pressão mecânica aplicada, vácuo aplicado, atmosferas gasosa especiais ou outros expedientes de infiltração.

O processo de Dwivedi et al., foi melhorado por Kantner et al., no pedido de patente de invenção norte-americano do mesmo proprietário Nº 07/381 523, depositado em 18 de Julho de 1989, intitulado "A Method of Forming Metal Matrix Composite Bodies By a Self-Generated Vacuum Process, and Products Produced Therefrom". De acordo com o processo de Kantner et al., fabrica-se um recipiente impermeável e coloca-se um material de enchimento ou um pré-molde no interior do recipiente. Funde-se então um metal da matriz e coloca-se em contacto com o material de enchimento ou o pré-molde. Forma-se depois um meio de vedação para isolar qualquer atmosfera ambiente da atmosfera reactiva contida no interior do material de enchimento ou no pré-molde. Forma-se então um vácuo autogerado no interior do recipiente, donde resulta que o metal da matriz fundido se infiltra no material de enchimento ou no pré-molde. Depois o metal da matriz é arrefecido (por exemplo, é solidificado direccionalmente) e retira-se o compósito com matriz de metal formado do recipiente. Kantner et al., revelam um certo número de combinações de metais da matriz e de materiais de enchimento diferentes, que são apropriados para usar com a invenção descrita.

O objecto da presente invenção está também relacionado com o de vários outros pedidos de patente de in-

venção pendentes e do mesmo proprietário, de compósitos com matriz de metal. Especificamente, está descrito um processo novo de fabricação de um material compósito com matriz de metal no pedido de patente de invenção norte-americana Nº049 171, depositado em 13 de Maio de 1987, em nome de White et al., do mesmo proprietário e intitulado "Metal Matrix Composites", agora patente de invenção US 4 828 008, que foi publicada em 9 de Maio de 1989. De acordo com o processo da invenção de White, agora concedido nos Estados Unidos. De acordo com o processo da invenção de White et al, um compósito com matriz de metal é produzido pela infiltração de uma massa permeável de material de enchimento (por exemplo uma cerâmica ou um material revestido com cerâmica) com alumínio fundido contendo pelo menos cerca de 1 por cento, em peso, de magnésio e de preferência pelo menos cerca de 3 por cento, em peso, de magnésio. A infiltração ocorre espontaneamente, sem aplicação de pressão no vácuo exteriores. Um suprimento de liga de metal fundido é posto em contacto com a massa de material de enchimento a uma temperatura de pelo menos cerca de 675°C, na presença de um gás compreendido de cerca de 10 a 100 por cento, e, de preferência, cerca de 50 por cento de azoto, em volume, sendo o restante do gás, se houver um gás não oxidante, por exemplo argon. Nestas condições, a liga de alumínio fundido infiltra-se na massa cerâmica às pressões atmosféricas normais para formar um compósito com matriz de alumínio (ou liga de alumínio). Quando se tiver infiltrado a quantidade desejada de material de enchimento com a liga de alumínio fundida, baixa-se a temperatura para solidificar a liga, formando assim uma estrutura com matriz de metal sólida embebida

no material de enchimento de reforço. Usualmente e de preferência, o suprimento de liga fundido fornecido será suficiente para permitir que a infiltração se processe substancialmente até aos limites da massa de material de enchimento.

A quantidade de material de enchimento nos compósitos com matriz de alumínio produzidos de acordo com a invenção de White et al pode ser extraordinariamente alta. A este respeito, podem atingir-se relações volumétricas entre o material de enchimento e a liga maiores que 1:1.

Nas condições do processo na invenção de White et al atrás mencionada, pode formar-se nitreto de alumínio com uma fase descontínua dispersa por toda a matriz de alumínio. A quantidade de nitreto de alumínio pode variar, dependendo de factores como a temperatura, a composição da liga, a composição do gás e do material de enchimento. Assim, controlando um ou mais desses factores no sistema é possível determinar de antemão certas propriedades do compósito. Para algumas aplicações de utilização final, pode no entanto ser desejável que o compósito contenha pouco ou substancialmente nenhum nitreto de alumínio.

Tem sido observado que temperaturas mais elevadas favorecem a infiltração, mas tornam o processo mais conducente à formação de nitretos. A invenção de White et al permite a escolha de um equilíbrio entre a cinética da infiltração e a formação dos nitretos.

Um exemplo de dispositivo de barreira adequado para ser utilizado com a formação de compósitos com matriz de metal é descrito no pedido de patente americano do mesmo proprietário Nº 141 642, depositado em 7 de Janeiro

de 1988, em nome de Michael K. Aghajanian et al, e intitulado "Method of Making Metal Matrix Composite with the use of a Barrier". De acordo com o processo da invenção de Aghajanian et al, coloca-se um dispositivo de barreira (por exemplo, dióxido de titânio em partículas ou um material de grafite, tal como produto de fita de grafite flexível vendida pela Union Carbide com a designação comercial Grafoil^R) num limite de superfície definido do material de enchimento, e a liga da matriz infiltra-se até ao limite pelo meio de barreira. O meio de barreira é usado para inibir, impedir ou terminar a infiltração da liga fundida, proporcionando assim formas reticulares ou quase reticulares no compósito com matriz de metal resultante. Consequentemente, os corpos compostos com matriz de metal formados têm uma forma exterior que corresponde substancialmente à forma interior do meio de barreira.

O processo do pedido de patente americano Nº 049 171 aperfeiçoado pelo pedido de patente americano copendente e do mesmo proprietário Nº 168 284, depositado em 15 de Março de 1988, em nome de Michael K. Aghajanian e Marc S. Newkirk e intitulado "Metal Matrix Composites and Techniques for Making the Same". De acordo com os processos apresentados nesse pedido de patente americano, uma liga de metal da matriz está presente como uma primeira fonte de metal e como um reservatório de liga de metal da matriz que comunica com a primeira fonte de metal fundido devido por exemplo, ao fluxo por gravidade. Em particular, nas condições descritas nesse pedido de patente, a primeira fonte de liga de matriz fundida começa a infiltrar a massa de material de

enchimento à pressão atmosférica normal, começando assim a formação de um compósito com matriz de metal. A primeira fonte de liga de metal de matriz fundida é consumida durante a sua infiltração na massa de material de enchimento e, se se desejar, pode ser reposta, de preferência por um meio contínuo a partir do reservatório de metal da matriz fundida à medida que a infiltração espontânea continua. Quando se tiver infiltrado espontaneamente uma quantidade desejada de material de enchimento permeável pela liga da matriz fundida, baixa-se a temperatura para solidificar a liga, formando assim, uma estrutura sólida da matriz de metal que embebe o material de enchimento de reforço. Deve compreender-se que a utilização de um reservatório de metal é simplesmente uma forma de realização da invenção descrita nesse pedido de patente e não é necessário combinar a forma de realização do reservatório com todas as formas de realização alternativas da invenção nele descritas, algumas das quais poderiam também ser convenientes para utilizar em combinação com a presente invenção.

O reservatório de metal pode estar presente numa quantidade tal que proporciona uma quantidade suficiente de metal para infiltrar a massa permeável de material de enchimento numa extensão pré-determinada. Em alternativa, um meio de barreira optativo pode contactar a massa permeável de material de enchimento pelo menos um dos seus lados para definir um limite de superfície.

Além disso, embora o suprimento de liga da matriz fundida fornecida possa ser pelo menos suficiente para permitir que a infiltração espontânea se processe substan

cialmente até os limites (por exemplo, as barreiras) da massa permeável de material de enchimento, a quantidade de liga presente no reservatório podia exceder essa quantidade suficiente de modo que não só haverá uma quantidade suficiente de liga para a infiltração completa, como também poderia ficar liga de metal fundida em excesso e ser fixada ao corpo compósito com matriz de metal. Assim, quando estiver presente liga fundida em excesso, o corpo resultante será um corpo compósito complexo (por exemplo, um macrocompósito) no qual um corpo cerâmico infiltrado, com uma matriz de metal, estará ligado directamente ao metal em excesso que fica no reservatório.

Podem encontrar-se outros aperfeiçoamentos na tecnologia da matriz metálica no pedido de patente de invenção copendente do mesmo proprietário US 07/416 327, depositado em 6 de Outubro de 1989, em nome de Aghajanian e outros, e intitulado "A Method of Forming Metal Matrix Composite Bodies By A Spontaneous Infiltration Process, and Products Produced Therefrom". De acordo com esta invenção de Aghajanian e outros, consegue-se a infiltração espontânea de um metal de matriz numa massa permeável de material de enchimento ou pré-molde, utilizando um promotor da infiltração e/ou um precursor do promotor de infiltração e/ou uma atmosfera infiltrante que estão em comunicação com o material de enchimento ou o pré-molde, pelo menos em algum instante durante o processo, o que permite que o metal da matriz se infiltre espontaneamente no material de enchimento ou no pré-molde. Aghajanian e outros dão a conhecer um certo número de sistemas de metal da matriz/precursor do promotor

da infiltração/atmosfera infiltrante que apresentam a infiltração espontânea. Especificamente, Aghajanian e outros indicam que se observou um comportamento de infiltração espontânea no sistema alumínio/magnésio/azoto; no sistema alumínio/estrôncio/azoto; no sistema alumínio/zinco/oxigênio; e no sistema alumínio/cálcio/azoto. Porém, é claro a partir da descoberta de Aghajanian e outros que o comportamento de infiltração espontânea deve ocorrer noutros sistemas de metal da matriz/precursor do promotor de infiltração/atmosfera infiltrante.

Cada um dos pedidos de patente e patentes de invenção do mesmo proprietário atrás discutidos descreve processos para a produção de corpos compósitos com matriz de metal e de novos corpos compósitos com matriz de metal produzidos a partir dos mesmos. Incorporam-se aqui, por referência, as descrições completas dos pedidos de patente de invenção do mesmo proprietário atrás referidas de matriz de metal.

Sumário da invenção

A presente invenção refere-se a materiais de blindagem que compreendem um compósito com matriz de metal. Especificamente, os materiais de blindagem podem consistir essencialmente no compósito com matriz metálica em si, ou o compósito com matriz de metal pode fazer parte de um subsistema para ser usado num sistema de blindagem (por exemplo para ser usado em veículos terrestres, aeronaves ou veículos aquáticos).

Especificamente, descobriu-se que um corpo

compósito com matriz de metal altamente carregado (isto é, um corpo que tem uma percentagem em volume elevada de um material de enchimento contido no interior de um metal da matriz) pode apresentar características de blindagem desejáveis. Especificamente, um corpo compósito com matriz de metal altamente carregado pode apresentar efeitos erosivos num projéctil; tipicamente, tem uma rigidez muito maior que o metal da matriz isolado; é mais duro do que o metal da matriz isolado e pode apresentar durezas que se aproximam das durezas dos materiais de enchimento; e pode ter uma resistência mecânica relativamente elevada.

Por conseguinte, qualquer processo de formação apropriado que possa ser usado para fabricar um corpo compósito com matriz de metal altamente carregado seria compatível com a presente invenção. Adicionalmente, pode ser usada qualquer combinação de materiais de enchimento e de metais da matriz que apresentam uma eficácia antibalística desejável. Por exemplo, podem utilizar-se técnicas tais como a moldação com prensa de compressão, moldação por pressão, etc., para formar corpos compósitos com matriz de metal segundo a presente invenção.

Porém, dão-se aqui a conhecer duas formas de realização preferidas para a formação de corpos compósitos com matriz de metal. Estas duas formas de realização preferidas foram discutidas genericamente atrás na secção intitulada "Discussão de patentes de invenção e pedidos de patentes de invenção do mesmo proprietário". Mais especificamente, pode usar-se qualquer das técnicas de vácuo autogerado e

técnicas de infiltração espontânea para fabricar corpos compósitos que apresentam características desejáveis.

Como atrás foi discutido, pode utilizar-se qualquer combinação de metais e materiais de enchimento que apresentem uma eficácia antibalística desejável. No entanto, os metais de matriz preferidos incluem o cobre, o titânio, o ferro fundido, o alumínio, o níquel, o aço, etc. Os materiais de enchimento preferidos incluem o carboneto de silício, a alumina, o diboreto de titânio, o óxido de zircônio, o carboneto de titânio, o nitreto de titânio, o nitreto de alumínio, etc. O material de enchimento pode estar em qualquer forma desejável, incluindo as formas de partículas, de fibras, de filamentos emaranhados, etc.

Os materiais de matriz especialmente preferidos incluem o cobre, o titânio, o ferro fundido e o alumínio, em combinação com os materiais de enchimento preferidos de carboneto de silício e alumina.

Definições

Tal como aqui são usados na memória descritiva e nas reivindicações anexas, os termos seguintes são definidos como se segue:

"Lado da liga", como é aqui usado, refere-se ao lado de um compósito com matriz de metal que está inicialmente em contacto com o metal da matriz antes de o metal fundido ter infiltrado a massa permeável de material de enchimento ou o do pré-molde.

"Alumínio", como é aqui usado, significa e inclui essencialmente metal puro (por exemplo um alumínio re

lativamente puro, sem liga, existente no mercado) ou outras qualidades de metal e ligas do metal tais como os metais existentes no mercado com impurezas e/ou componentes de liga tais como ferro, silício, cobre, magnésio, crômio, zinco, etc. Uma liga de alumínio é, para os fins desta definição, uma ligação ou composto intermetálico no qual o alumínio é o constituinte mais importante.

"Atmosfera ambiente", como é aqui usado, refere-se à atmosfera no exterior do material de enchimento ou do pré-molde e do recipiente impermeável. Pode ter substancialmente os mesmos constituintes que a atmosfera reactiva ou ter constituintes diferentes.

"Gás restante não oxidante", como aqui é usado, significa que qualquer gás presente, além do gás principal que constitui a atmosfera infiltrante, é ou um gás inerte ou um gás redutor substancialmente não reactivo com o metal da matriz nas condições do processo. Qualquer gás oxidante que possa estar presente como impureza no(s) gás(es) usado(s) deve ser insuficiente para oxidar o metal da matriz em qualquer grau substancial nas condições do processo.

"Barreira" ou "Meios de Barreira", como aqui é usado, significa qualquer meio adequado que interfere, inibe, impede ou interrompe a migração, o movimento ou similar, de metal da matriz fundido para além de um limite de superfície de uma massa permeável do material de enchimento ou de pré-molde, sendo esse limite de superfície definido pelos meios de barreira. São meios de barreira apropriados qualquer material, composto, elemento, composição ou similar que, nas condições do processo, mantém certa integri-

dade e que não é substancialmente volátil (isto é, o material de barreira não se volatiliza até um ponto tal que se torne não funcional como barreira.

Além disso, os "meios de barreira" apropriados incluem materiais que são substancialmente não molháveis pelo metal da matriz fundido que migra, nas condições do processo utilizadas. Uma barreira deste tipo apresenta ter substancialmente pouca ou nenhuma afinidade para o metal da matriz fundido, e o movimento para além do limite de superfície definido da massa de material de enchimento ou do pré-molde é impedido ou inibido pelos meios de barreira. A barreira reduz qualquer maquinagem ou rectificação finais que possam ser necessárias e define pelo menos uma porção da superfície do produto compósito com matriz de metal resultante. A barreira pode, em certos casos, ser permeável ou porosa, ou tornada permeável, por exemplo pela abertura de furos ou perfuração da barreira, para permitir que o gás contacte com o metal da matriz fundido.

"Bronze", como é aqui usado, significa e inclui uma liga rica em cobre que pode incluir ferro, estanho, zinco, alumínio, silício, berílio, magnésio e/ou chumbo. Ligas de bronze específicas incluem aquelas nas quais a proporção de cobre é de cerca de 90%, em peso, a proporção de silício é de cerca de 6%, em peso, e a proporção de ferro é de cerca de 3%, em peso.

"Carcassa" ou "Carcassa de metal da matriz", como é aqui usado, refere-se a qualquer porção do corpo original de metal da matriz que fica, que não foi consumido durante a formação do corpo compósito com matriz de metal e,

tipicamente, se se deixar arrefecer, fica em contacto, pelo menos parcial, com o corpo compósito com matriz de metal que foi formado. Deve entender-se que a carcassa pode também incluir em si um segundo metal ou metal estranho.

"Ferro fundido", como é aqui usado, refere-se à família das ligas de ferro fundido nas quais a percentagem de carbono é pelo menos de cerca de 2%, em peso.

"Cobre", como é aqui usado, refere-se às qualidades comerciais do metal substancialmente puro, por exemplo com 99%, em peso, de cobre, com quantidades variáveis de impurezas. Além disso, refere-se também a metais que são ligas ou compostos intermetálicos que não caem dentro da definição de bronze e que contêm como constituinte mais importante.

"Material de enchimento", como aqui é usado, pretende-se que inclua quer constituintes individuais, quer constituintes ou misturas de constituintes substancialmente não reactivos com o metal da matriz e/ou com solubilidade reduzida no mesmo, podendo ser de fase única ou com várias fases. Os materiais de enchimento podem ser proporcionados com uma ampla variedade de formas tais como pós, flocos, plquetas, microesferas, filamentos emaranhados, pérolas, etc., e podem ser densos ou porosos. "Material de enchimento" podem também incluir materiais de enchimento cerâmicos, tais como, a alumina ou o carboneto de silício sob a forma de fibras, fibras cortadas, materiais em partículas, filamentos emaranhados, pérolas, esferas, mantos de fibras ou similares e materiais de enchimento revestidos de cerâmica, tais como fibras de carbono revestidas com alumina ou carboneto

de silício para proteger o carbono do ataque, por exemplo, por um metal original de alumínio fundido. Os materiais de enchimento também podem incluir metais.

"Remoção do topo pelo calor", como é aqui usado, refere-se à colocação de uma substância numa extremidade (a extremidade "de topo") de um compósito com matriz de metal formado pelo menos parcialmente, que reage exotermicamente acima e/ou com pelo menos o metal da matriz e/ou o material de enchimento e/ou com outro material fornecido para a extremidade de topo. Esta reacção exotérmica deve proporcionar calor suficiente para manter o metal da matriz na extremidade de topo num estado fundido enquanto o restante do metal da matriz no compósito arrefece até à temperatura de solidificação.

"Recipiente impermeável", como é aqui usado, significa um recipiente que pode alojar ou conter uma atmosfera reactiva e um material de enchimento (ou pré-molde) e/ou metal da matriz fundido e/ou meios de vedação nas condições do processo, e que é suficientemente impermeável para o transporte de produtos gasosos ou vapores através do recipiente, de modo tal que possa estabelecer-se uma diferença de pressões entre a atmosfera ambiente e a atmosfera reactiva.

"Atmosfera infiltrante", como aqui é usado, significa a atmosfera que está presente, que interage com metal da matriz e/ou o pré-molde (ou o material de enchimento) e/ou o precursor de intensificador de infiltração e/ou o intensificador de infiltração e permite ou intensifica a ocorrência da infiltração espontânea do metal da matriz ocor-

ra.

"Intensificador de infiltração", como aqui é usado, significa um material que promove ou auxilia a infiltração espontânea do metal da matriz num material de enchimento ou pré-molde. Um intensificador de infiltração pode ser formado, por exemplo, a partir de uma reacção de um precursor de intensificador de infiltração com uma atmosfera infiltrante para formar (1) uma espécie gasosa e/ou (2) um produto da reacção do precursor de intensificador de infiltração com a atmosfera infiltrante e/ou (3) um produto da reacção do precursor de intensificador de infiltração com o material de enchimento de pré-molde. Além disso, o intensificador de infiltração pode ser fornecido directamente ao pré-molde e/ou ao metal da matriz e/ou à atmosfera infiltrante e funciona de uma maneira substancialmente análoga à de um intensificador de infiltração que for formado como uma reacção entre o precursor de intensificador de infiltração e outras espécies. Finalmente, pelo menos durante a infiltração espontânea, o intensificador de infiltração deve estar localizado em pelo menos uma porção do material de enchimento ou pré-molde para obter a infiltração espontânea.

"Precursor de intensificador de infiltração" ou "precursor para o intensificador de infiltração", como aqui é usado, significa um material que, quando usado em combinação com o metal da matriz, o pré-molde e/ou a atmosfera infiltrante, forma um intensificador de infiltração que induz ou auxilia o metal da matriz a infiltrar-se espontaneamente no material de enchimento ou pré-molde. Sem desejar ficar limitado por qualquer teoria ou explicação particular,

parece contudo que pode ser necessário que o precursor do intensificador de infiltração possa ser posicionado, localizado ou transportável para um local que permita que o precursor de intensificador de infiltração interaja com a atmosfera infiltrante e/ou o pré-molde ou material de enchimento e/ou metal da matriz. Por exemplo, em certos sistemas de metal da matriz/precursor de intensificador de infiltração/atmosfera infiltrante é desejável que o precursor de intensificador de infiltração se volatilize, na vizinhança da ou, em alguns casos, um pouco acima da temperatura a que o metal da matriz se funde. Essa volatilização pode levar a: (1) uma reacção do precursor de intensificador de infiltração com a atmosfera infiltrante para formar uma espécie gasosa que intensifica o molhamento do material de enchimento ou o pré-molde pelo metal da matriz; e/ou (2) uma reacção do precursor de intensificador de infiltração com a atmosfera infiltrante para formar um intensificador de infiltração sólido, líquido ou gasoso em pelo menos uma porção do material de enchimento ou do pré-molde o que intensifica o molhamento; e/ou (3) uma reacção do precursor de intensificador de infiltração no interior do material de enchimento ou do pré-molde que forma um intensificador de infiltração sólido, líquido ou gasoso em pelo menos uma porção do material de enchimento ou do pré-molde, o que intensifica o molhamento.

"Metal da matriz" ou "liga de metal da matriz", como aqui é usado, significa o metal que é utilizado para formar um compósito com matriz de metal (por exemplo, antes da infiltração) e/ou o metal que é misturado com um material de enchimento para formar um corpo compósito com

matriz de metal (por exemplo, depois da infiltração). Quando um metal especificado é designado como metal da matriz, deve entender-se que esse metal da matriz inclui esse metal como um metal essencialmente puro, um metal comercialmente disponível com impurezas e/ou elementos de liga, um composto intermetálico ou uma liga em que aquele metal é o constituinte principal ou predominante.

"Sistema de metal da matriz/precursor de intensificador da infiltração/atmosfera infiltrante" ou "Sistema espontâneo", como aqui é usado, refere-se à combinação de materiais que apresente infiltração espontânea num pré-molde ou material de enchimento. Deve entender-se que quando aparecer um "/" entre um metal da matriz exemplificativo, um precursor de intensificador de infiltração e uma atmosfera infiltrante, "/" é utilizado para designar um sistema ou combinação de materiais que, quando combinados de uma maneira particular, apresentam a infiltração espontânea num pré-molde ou material de enchimento.

"Compósito com matriz de metal" ou "MMC", como aqui é usado, significa um material que compreende uma liga ou matriz de metal interligada bi- ou tridimensionalmente, que embebeu um pré-molde ou material de enchimento. O metal da matriz pode incluir vários elementos de liga para proporcionar propriedades mecânicas e físicas especificamente desejadas no compósito resultante.

Um metal "diferente" do metal da matriz significa um metal que não contém, como constituinte principal, metal igual ao da matriz (por exemplo, se o constituinte

te principal do metal da matriz for o alumínio, o metal "diferente" pode ter um constituinte principal de, por exemplo, níquel).

"Vaso não reactivo para alojar o metal da matriz", significa qualquer vaso que possa alojar ou conter um material de enchimento (ou pré-molde) e/ou metal da matriz fundido nas condições do processo e que não reage com a matriz e/ou a atmosfera infiltrante e/ou o precursor do intensificador da infiltração e/ou um material de enchimento ou pré-molde de uma maneira que seria significativamente prejudicial ao mecanismo de infiltração. O vaso não reactivo pode ser descartável ou amovível após ter-se completado a infiltração espontânea do metal da matriz fundido.

"Pré-molde" ou "pré-molde permeável", como aqui é usado, significa uma massa porosa de material de enchimento ou um material de enchimento que é preparado com pelo menos um limite de superfície que define substancialmente um limite para infiltração do metal da matriz, mantendo essa massa uma integridade de forma e uma resistência em verde suficientes para proporcionar uma fidelidade dimensional antes de ser infiltrada pelo metal da matriz. A massa deve ser suficientemente porosa para se adaptar à infiltração espontânea do metal da matriz no seu interior. Um pré-molde compreende tipicamente um agregado ou disposição ligados de material de enchimento, homogêneo ou heterogêneo, e pode ser constituído por qualquer material adequado (por exemplo, um material em partículas, de metal em pó, fibras, filamentos emaranhados, etc., de cerâmica e/ou metal e qualquer combina-

ção dos mesmos). Um pré-molde pode existir individualmente ou como um conjunto.

"Sistema da reacção", como aqui é usado, refere-se à combinação de materiais que apresentam infiltração por vácuo autogerado de um metal da matriz fundido num material de enchimento ou num pré-molde. Um sistema da reacção compreende pelo menos um recipiente impermeável que contém em si uma massa permeável de material de enchimento ou de um pré-molde, uma atmosfera reactiva e um metal da matriz.

"Atmosfera reactiva", como aqui é usado, significa uma atmosfera que pode reagir com o metal da matriz e/ou com o material de enchimento (ou o pré-molde) e/ou o recipiente impermeável para formar um vácuo autogerado, fazendo desse modo com que o metal da matriz fundido se infiltre no interior do material de enchimento (ou pré-molde) após a formação do vácuo autogerado.

"Reservatório", como aqui é usado, significa um corpo separado de metal da matriz, posicionado em relação à massa do material de enchimento ou do pré-molde de modo tal que, quando o metal está fundido, ele pode fluir para encher ou, em alguns casos, proporcionar inicialmente e depois encher, a porção, segmento ou fonte de metal da matriz que está em contacto com o material de enchimento ou com o pré-molde.

"Vedação" ou "meio de vedação", como aqui é usado, refere-se à vedação impermeável aos gases nas condições do processo, quer seja formada independentemente do

sistema de reacção (por exemplo uma vedação extrínseca) quer formada pelo sistema da reacção (por exemplo uma vedação intrínseca), que isola a atmosfera e/ou o recipiente impermeável e/ou o material de enchimento ou o pré-molde. O material pode ser adicionado ao metal da matriz, podendo a presença do facilitador da vedação no metal da matriz realçar as propriedades do corpo compósito resultante.

"Facilitador da vedação", como é aqui usado, é um material que facilita a formação de uma vedação por reacção do metal da matriz com a atmosfera ambiente e/ou com o recipiente impermeável e/ou com o material de enchimento ou pré-molde. O material pode ser adicionado ao metal da matriz e a presença do facilitador da vedação no material da matriz pode melhorar as propriedades do corpo compósito resultante.

"Infiltração espontânea", como aqui é usado, significa a infiltração do metal da matriz na massa permeável de material de enchimento ou pré-molde, que se verifica sem exigir a aplicação de pressão ou vácuo (quer aplicados externamente quer criados internamente).

"Intensificador do molhamento", como aqui é usado, refere-se a qualquer material que, quando adicionado ao metal da matriz e/ou ao material de enchimento ou ao pré-molde, intensifica o molhamento (por exemplo reduz a tensão superficial do metal da matriz fundido) do material de enchimento ou do pré-molde pelo metal da matriz fundido. A presença de um intensificador do molhamento pode também melhorar as propriedades do corpo compósito com matriz de metal resul-

tante, por exemplo melhorando a ligação entre o metal da matriz e o material de enchimento.

Breve descrição dos desenhos

As figuras seguintes são proporcionadas para auxiliar a compreensão da invenção, mas não se destinam a limitar o escopo da presente invenção. Utilizam-se números de referência iguais sempre que possível, em todas as figuras, para indicar componentes semelhantes, representando:

A fig. 1, uma vista esquemática em corte de um conjunto de montagem para a produção de um compósito com matriz de metal infiltrado espontaneamente;

A fig. 2, uma vista esquemática em corte de um conjunto para a produção de um compósito com matriz de metal pela técnica do vácuo autogerado; e

A fig. 3, um fluxograma simplificado do processo do vácuo autogerado como é aplicado a um conjunto normalizado.

Descrição pormenorizada da invenção e formas de realização preferidas

A presente invenção refere-se em geral a um corpo compósito com matriz de metal para ser usado como material de blindagem. Especificamente, um corpo compósito com matriz de metal que tem uma percentagem elevada, em volume, de carga de material de enchimento (por exemplo uma carga de material de enchimento de pelo menos cerca de 50%, em volume) pode comportar-se de uma maneira desejável como um material

de blindagem.

Pode usar-se um número qualquer de técnicas de formação apropriadas para formar um corpo compósito com matriz de metal com uma percentagem elevada de material de enchimento. No entanto, duas técnicas preferidas para a formação de um tal material de blindagem incluem a técnica de vácuo autogerado e a técnica da infiltração espontânea aqui discutidas atrás e ainda mais adiante.

Com referência à figura 1, nela está representado um conjunto simples (10) para a formação de um compósito com matriz de metal infiltrado espontaneamente. Especificamente, um material de enchimento ou pré-molde (1), que pode ser de qualquer material adequado, como adiante se examina em pormenor, é colocado num vaso não reactivo para alojar metal da matriz (2) e/ou material de enchimento. O metal da matriz (3) é colocado no, ou junto do, material de enchimento ou pré-molde (1). O conjunto é em seguida colocado num forno para iniciar a infiltração espontânea.

Sem desejar ficar limitado a qualquer teoria ou explicação particulares, quando se utilizar um precursor de intensificador de infiltração em combinação com o metal de matriz, e/ou o material de enchimento e/ou o pré-molde e/ou a atmosfera infiltrante, o precursor de intensificador de infiltração pode reagir para formar um intensificador de infiltração que induz ou auxilia a infiltração do metal com matriz de metal fundido espontaneamente no material de enchimento ou pré-molde. Além disso, é como se fosse necessário que o precursor de intensificador de infiltração possa ser posicionado, localizado ou transportável para o

local que permite que o precursor de intensificador de infiltração interaja com a atmosfera infiltrante e/ou o pré-molde ou material de enchimento e/ou o metal da matriz fundido. Por exemplo, em algum sistema de metal da matriz/precursor de intensificador de infiltração/atmosfera infiltrante é desejável que o precursor de intensificador de infiltração se volatilize à temperatura a que o metal da matriz se funde, próximo dessa temperatura, ou, em alguns casos, mesmo um pouco acima da mesma. Essa volatilização pode conduzir a: (1) uma reação do precursor de intensificador de infiltração com a atmosfera infiltrante para formar uma espécie gasosa que intensifica o molhamento do material de enchimento ou pré-molde pelo metal da matriz; e/ou (2) uma reação do precursor do intensificador de infiltração com a atmosfera infiltrante para formar um intensificador de infiltração sólido, líquido ou gasoso em pelo menos uma porção do material de enchimento ou pré-molde, e que intensifica o molhamento; e/ou (3) uma reação do precursor de intensificador de infiltração no interior do material de enchimento ou pré-molde, o que forma um intensificador de infiltração sólido, líquido ou gasoso em pelo menos uma porção do material de enchimento ou pré-molde, o que intensifica o molhamento.

Assim, por exemplo, se se incluir ou se combinar um precursor de intensificador de infiltração com metal de matriz fundido, pelo menos num certo instante durante o processo é possível que o intensificador de infiltração possa volatilizar-se a partir do metal da matriz fundido e reagir com o material de enchimento ou pré-molde e/ou a at-

atmosfera infiltrante. Essa reação pode ter como resultado a formação de uma espécie sólida, se essa espécie sólida for estável à temperatura de infiltração, sendo a referida espécie sólida susceptível de ser depositada em pelo menos uma porção de material de enchimento ou pré-molde, como, por exemplo, um revestimento. Além disso, é concebível que essa espécie sólida possa estar presente como um sólido discernível no interior de pelo menos uma porção do pré-molde ou material de enchimento. Se se formar uma tal espécie sólida, o metal da matriz fundido, pode ter a tendência para reagir (por exemplo, o metal da matriz fundido pode reduzir a espécie sólida formada, de modo que pode associar-se (por exemplo dissolver-se ou formar uma liga com) o precursor de intensificador de infiltração com o metal da matriz fundido. Consequentemente, pode então ficar disponível o precursor de intensificador de infiltração adicional para se volatilizar e reagir com outras espécies (por exemplo, o material de enchimento ou o pré-molde e/ou a atmosfera infiltrante) e mais uma vez formar uma espécie sólida similar. É concebível que possa verificar-se um processo contínuo de conversão de precursor de intensificador de infiltração em intensificador de infiltração seguido por uma reação de redução de intensificador de infiltração com metal da matriz fundido para mais uma vez formar intensificador de infiltração adicional etc., até que o resultado obtido seja um compósito com matriz de metal infiltrado espontaneamente.

A fim de efectuar a infiltração espontânea de metal da matriz no material de enchimento ou no pré-

molde, deve proporcionar-se um intensificador de infiltração ao sistema espontâneo. Um intensificador de infiltração poderia ser formado a partir de um precursor de intensificador de infiltração que poderia ser proporcionado (1) no metal da matriz; e/ou (2) no material de enchimento ou no pré-molde e/ou (3) a partir da atmosfera infiltrante e/ou (4) a partir de uma fonte externa para o sistema espontâneo. Além disso, em vez de fornecer um precursor de intensificador de infiltração, pode proporcionar-se um intensificador de infiltração directamente ao material de enchimento ou ao pré-molde e/ou ao metal da matriz e/ou à atmosfera infiltrante. Finalmente, pelo menos durante a infiltração espontânea, o intensificador de infiltração deve estar localizado em pelo menos uma porção do material de enchimento ou pré-molde.

Numa forma de realização preferida, da presente invenção, é possível que o precursor do intensificador de infiltração possa reagir pelo menos parcialmente com a atmosfera infiltrante de modo que o intensificador da infiltração pode ser formado em pelo menos uma porção do material de enchimento ou pré-molde antes ou substancialmente ao mesmo tempo que o contacto do material de enchimento ou pré-molde com o metal da matriz (por exemplo, se foi o magnésio o precursor de intensificador de infiltração e o azoto foi a atmosfera infiltrante, o intensificador de infiltração poderia ser o nitreto de magnésio, que estaria localizado pelo menos numa porção do pré-molde ou do material de enchimento).

Um exemplo de um sistema de metal da ma-

triz/precursor de intensificador de infiltração/atmosfera infiltrante é o sistema de alumínio/magnésio/azoto. Especialmente um metal da matriz de alumínio pode estar contido dentro de um vaso refractárioadequado que, nas condições do processo, não reage adversamente com o metal da matriz de alumínio e/ou o material de enchimento, quando o alumínio fundir. Um material de enchimento ou pré-molde pode, depois disso, ser posto em contacto com o metal da matriz fundido e infiltrado espontaneamente.

Além disso, em vez de fornecer um precursor de intensificador de infiltração pode fornecer-se um intensificador de infiltração directamente ao pré-molde ou material de enchimento e/ou ao metal da matriz e/ou à atmosfera infiltrante. Finalmente, pelo menos durante a infiltração espontânea, o intensificador de infiltração deve estar localizado em pelo menos uma porção do material de enchimento ou pré-molde.

Nas condições usadas no processo segundo a presente invenção, no caso de um sistema de infiltração espontânea de alumínio/magnésio/azoto, o pré-molde ou o material de enchimento devem ser suficientemente permeáveis para permitir que o gás contendo azoto penetre ou atravesse os poros de material de enchimento ou pré-molde num lado instante durante o processo e/ou entre em contacto com o metal da matriz com o metal da matriz fundido. Além disso, o material de enchimento ou o pré-molde permeáveis podem adaptar-se à infiltração do metal da matriz fundido, fazendo assim com que

o pré-molde impregnado com azoto seja infiltrado espontaneamente com metal da matriz fundido para formar um corpo composto com matriz de metal e/ou fazer com que azoto reaja com um precursor de intensificador da infiltração para formar o intensificador da infiltração no material de enchimento ou pré-molde, dando assim, origem à infiltração espontânea. A extensão da infiltração espontânea e a formação do composto com matriz de metal variarão com um dado conjunto de condições de processo, incluindo o teor de magnésio da liga de alumínio, o teor de magnésio do pré-molde ou material de enchimento, a quantidade de nitreto de magnésio no pré-molde ou material de enchimento, a presença de elementos de liga adicionais, por exemplo, silício, ferro, cobre, manganés, crômio, zinco e semelhantes), as dimensões médias do material de enchimento (por exemplo, o diâmetro das partículas) que constituem o pré-molde ou material de enchimento, a condição da superfície e o tipo de material de enchimento ou pré-molde, a concentração de azoto da atmosfera infiltrante o tempo permitido para a infiltração e a temperatura a que se verifica a infiltração. Por exemplo, para que a infiltração de metal da matriz de alumínio fundido se verifique espontaneamente o alumínio pode formar uma liga com pelo menos cerca de 1 por cento em peso, e de preferência pelo menos cerca de 3 por cento, em peso, de magnésio (que funciona como precursor do intensificador de infiltração) com base no peso da liga. Elementos de liga auxiliares como atrás se mencionou, também podem estar incluídos no metal da matriz para nela obter propriedades específicas pré-determinadas. Adicio-

nalmente, os elementos de liga auxiliares podem influenciar a quantidade mínima de magnésio requerida no metal de alumínio da matriz para conduzir à infiltração espontânea do material de enchimento ou pré-molde. A perda de magnésio a partir do sistema espontâneo devido, por exemplo, à volatilização, não ocorrerá em grau tal que não haja nenhum magnésio para formar intensificador de infiltração. Assim, é desejável utilizar uma quantidade suficiente de elementos de liga iniciais para assegurar que a infiltração não será afectada de maneira adversa pela volatilização. Além disso ainda, a presença de magnésio quer no pré-molde (ou material de enchimento), quer no metal da matriz ou apenas no pré-molde (ou material de enchimento) pode ter como consequência uma redução na quantidade de magnésio necessária para se obter a infiltração espontânea (examinado com mais pormenor mais adiante).

A percentagem, em volume, de azoto na atmosfera de azoto também afecta as taxas de formação de corpo compósito com matriz de metal. Especificamente, se estiverem presentes menos de cerca de 10 por cento, em volume, de azoto na atmosfera, verificar-se-á uma infiltração espontânea muito lenta ou reduzida. Verificou-se que é preferível que estejam presentes pelo menos cerca de 50 por cento, em volume, de azoto na atmosfera, de modo que resultam, por exemplo, menores tempos de infiltração devido a uma velocidade de infiltração muito maior. A atmosfera infiltrante (por exemplo um gás contendo azoto) pode ser fornecida directamente ao material de enchimento ou pré-molde e/ou metal da matriz, ou

pode ser produzida por, ou resultar de uma decomposição de um material.

O teor mínimo de magnésio requerido para que o metal da matriz fundido se infiltre num material de enchimento ou pré-molde depende de uma ou mais variáveis tais como a temperatura de processamento, o tempo, a presença de elementos de liga auxiliares, tais como silício ou zinco, a natureza do material de enchimento, a localização do magnésio em um ou mais dos componentes do sistema espontâneo, e o teor de azoto da atmosfera e a velocidade com que a atmosfera de azoto flui. Podem usar-se temperaturas mais baixas ou tempos de aquecimento menores para se obter uma infiltração completa quando se aumentar o teor de magnésio e/ou do pré-molde. Também para um dado teor de magnésio, a adição de certos elementos de liga auxiliares, tais como o zinco, permite o uso de temperaturas mais baixas. Por exemplo, um teor de magnésio no metal da matriz no extremo inferior da faixa operável, por exemplo, de cerca de 1 a 3 por cento em peso, pode ser usado em conjunto com pelo menos uma das seguintes condições: uma temperatura de processamento acima da mínima, uma elevada concentração de azoto ou um ou mais elementos de liga auxiliares. Se não se adicionar nenhum magnésio ao pré-molde são preferidas as ligas contendo cerca de 3 a 5 por cento, em peso, de magnésio, com base na sua utilidade geral, numa ampla variedade de condições do processo, preferindo-se pelo menos cerca de 5 por cento quando se utilizam temperaturas mais baixas e tempos mais curtos. Podem usar-se teores de magnésio acima de cerca de

10 por cento em peso, da liga de alumínio, para moderar as condições de temperatura requeridas para a infiltração. O teor de magnésio pode ser reduzido quando usado em conjunto com um elemento de liga auxiliar, mas esses elementos apenas desempenham uma função auxiliar e são usados juntamente com pelo menos a quantidade mínima de magnésio atrás especificada. Por exemplo, não havia substancialmente qualquer infiltração de alumínio nominalmente puro formando liga com apenas 10 por cento de silício a 1000°C num leito de 39 Crystolon (carboneto de silício puro a 99%, da Norton Co.) com granulometria de 500 mesh. Mas na presença de magnésio, verificou-se que o silício promoveu o processo de infiltração. Como outro exemplo, a quantidade de magnésio varia se ele for fornecido exclusivamente ao pré-molde ou material de enchimento.

Verificou-se que a infiltração espontânea ocorrerá com uma percentagem, em peso, menor de magnésio fornecido ao sistema espontâneo, quando pelo menos uma parte da quantidade total de magnésio fornecido for colocado no pré-molde ou material de enchimento. Pode ser desejável proporcionar uma quantidade menor de magnésio a fim de impedir a formação de compostos intermetálicos indesejáveis no corpo compósito com matriz de metal. No caso de um pré-molde de carboneto de silício, descobriu-se que, quando se põe o pré-molde em contacto com um metal da matriz de alumínio, contendo o pré-molde pelo menos cerca de 1%, em peso, de magnésio e estando na presença de uma atmosfera de azoto substan-

cialmente puro, se infiltra espontaneamente no metal da matriz no pré-molde. No caso de um pré-molde de alumina, a quantidade de magnésio necessário para se obter infiltração espontânea aceitável é ligeiramente maior. Especificamente verificou-se que, quando um pré-molde de alumina é posto em contacto com um metal da matriz de alumínio similar, aproximadamente à mesma temperatura que a alumina que se infiltrou num pré-molde de carboneto de silício, e na presença da mesma atmosfera de azoto, podem ser necessários pelo menos cerca de 3%, em peso, de magnésio para se obter infiltração espontânea semelhante à obtida no pré-molde de carboneto de silício que se acabou de examinar.

Faz-se também notar que é possível fornecer ao sistema espontâneo precursor de intensificador de infiltração e/ou intensificador de infiltração numa superfície da liga e/ou numa superfície do pré-molde ou material de enchimento e/ou no interior do pré-molde ou material de enchimento antes da infiltração do metal da matriz no material de enchimento ou pré-molde (isto é, pode não ser necessário que o intensificador de infiltração ou o precursor de intensificador de infiltração fornecido forme uma liga com o metal da matriz mas, pelo contrário, simplesmente seja fornecido ao sistema espontâneo). Por exemplo, no sistema de alumínio/magnésio/azoto, se se tiver aplicado magnésio a uma superfície do metal da matriz, pode ser preferido que a referida superfície seja a superfície seja a superfície que está mais perto ou, de preferência, em contacto com a massa permeável de material de enchimento, ou vice-versa; ou esse magnésio poderia ser misturado a pelo menos uma

porção do pré-molde ou material de enchimento. Além disso, é ainda possível que se utilize uma certa combinação da aplicação na superfície, da formação da liga e da colocação do magnésio em pelo menos uma porção do pré-molde. Essa combinação da aplicação de intensificador(es) de infiltração e/ou precursor de intensificador de infiltração poderia ter como resultado uma diminuição da percentagem total, em peso, de magnésio necessário para promover a infiltração do metal alumínio da matriz no pré-molde, bem como a obtenção de temperaturas mais baixas a que se verifique a infiltração. Além disso, poderia também minimizar-se a quantidade de compostos intermetálicos indesejáveis formados devido à presença de magnésio.

O uso de um ou mais elementos de liga auxiliares e da concentração de azoto no gás circundante também afecta a extensão de nitretação do metal da matriz a uma dada temperatura. Por exemplo, podem usar-se elementos de liga auxiliares, como o zinco ou o ferro incluídos na liga ou colocados numa superfície da liga, para baixar a temperatura de infiltração e diminuir assim a quantidade da formação de nitreto, ao passo que pode usar-se o aumento da concentração de azoto para promover a formação de nitreto.

A concentração de magnésio na liga e/ou colocado numa superfície da liga e/ou combinado no material de enchimento ou pré-molde também tende a afectar a extensão de infiltração a uma dada temperatura. Consequentemente, em alguns casos em que pouco ou nenhum magnésio é posto directamente em contacto com o pré-molde ou material de enchi-

mento, pode ser preferido incluir na liga pelo menos cerca de 3 por cento, em peso, de magnésio. Teores de liga inferiores a essa quantidade, tais como 1 por cento, em peso, de magnésio, podem requerer temperaturas do processo mais elevadas ou um elemento de liga auxiliar para a infiltração. A temperatura necessária para efectuar o processo de infiltração espontânea segundo a presente invenção pode ser mais baixa: (1) quando se aumentar apenas o teor de magnésio da liga, por exemplo para pelo menos cerca de 5 por cento em peso; e/ou (2) quando se misturarem componentes de liga com a massa permeável do material de enchimento ou pré-molde; e/ou (3) quando estiver presente na liga de alumínio outro elemento, tal como zinco ou ferro. A temperatura também pode variar com diferentes materiais de enchimento. Em geral, no sistema de alumínio/magnésio/azoto verificar-se-á a infiltração espontânea e progressiva a uma temperatura do processo de pelo menos cerca de 675°C e, de preferência, a uma temperatura do processo de pelo menos cerca de 750°C - 800°C . Temperaturas geralmente acima de 1200°C , parece não beneficiarem o processo, tendo-se verificado ser particularmente útil uma gama de temperaturas de cerca de 675°C a cerca de 1000°C . Contudo, como regra geral, a temperatura de infiltração espontânea é uma temperatura superior ao ponto da fusão do metal da matriz mas abaixo da temperatura de volatilização do metal da matriz. Além disso a temperatura de infiltração espontânea deve ser inferior ao ponto de fusão do material de enchimento. Além disso ainda à medida que se aumenta a temperatura, aumenta a tendência para formar um produto de reacção entre o metal da matriz e a

atmosfera infiltrante (por exemplo, no caso do metal de matriz de alumínio e uma atmosfera infiltrante de azoto, pode formar-se nitreto de alumínio). Um tal produto da reacção pode ser desejável ou indesejável conforme a aplicação pretendida do corpo compósito com matriz de metal. Adicionalmente utiliza-se tipicamente o aquecimento por resistência eléctrica para obter as temperaturas de infiltração. Contudo, qualquer meio de aquecimento que possa fazer com que o metal da matriz funda e não afecte adversamente a infiltração espontânea é aceitável para utilizar na presente invenção.

No presente processo, por exemplo, uma massa permeável de material de enchimento ou um pré-molde entra em contacto com alumínio fundido na presença de pelo menos um gás contendo azoto, em algum momento durante o processo. O gás contendo azoto pode ser fornecido mantendo um fluxo contínuo de gás em contacto com o material de enchimento ou o pré-molde e/ou o metal da matriz de alumínio fundido. Embora o caudal de gás contendo azoto não seja crítico, é preferido que esse caudal seja suficiente para compensar qualquer perda de azoto da atmosfera devido a qualquer formação de nitreto e também impedir ou inibir a incursão de ar, que pode ter uma acção oxidante no metal fundido.

O processo para a modelação de um compósito com matriz de metal é aplicável a uma ampla variedade de materiais de enchimento, dependendo a escolha do material de enchimento de factores tais como a liga de matriz, as condições de processo, a reactividade da liga da matriz fundida com o material de enchimento e as propriedades pretendidas

para o produto compósito final. Por exemplo, quando o alumínio for o metal da matriz, os materiais de enchimento adequados incluem (a) óxidos, por exemplo alumina, óxido de magnésio e de zircônio; (b) carbonetos, por exemplo carboneto de silício; (c) boretos, por exemplo, dodecaboreto de alumínio, diboreto de titânio e (d) nitretos, por exemplo nitreto de alumínio e (e) as suas misturas. Se houver uma tendência para o material de enchimento reagir com o metal da matriz de alumínio fundido, isso poderia ser compensado minimizando o tempo de infiltração e a temperatura ou proporcionando um revestimento não reactivo no material de enchimento. O material de enchimento pode compreender um substrato, tal como carbono ou outro material não cerâmico, levando um revestimento cerâmico para proteger o substrato do ataque ou da degradação. Os revestimentos cerâmicos adequados incluem óxidos, carbonetos, boretos e nitretos. As cerâmicas preferidas para utilizar no presente processo incluem a alumina e o carboneto de silício sob a forma de partículas, plaquetas, filamentos emaranhados e fibras. As fibras podem ser descontínuas (sob a forma cortada) ou sob a forma de filamento contínuo, tais como estopas de multifilamentos. Além disso, o material de enchimento ou o pré-molde podem ser homogêneos ou heterogêneos.

Descobriu-se também que certos materiais de enchimento apresentam uma melhor infiltração em relação aos materiais de enchimento tendo uma composição química semelhante. Por exemplo, corpos de alumina triturada feitos pelo processo descrito na patente americana Nº 4.713.360,

intitulada "Novel Ceramic Materials and Methods of Making Same" publicada em 15 de Dezembro de 1987, em nome de Marc. S. Newkirk et al., apresentam propriedades de infiltração em relação aos produtos de alumina comercialmente disponíveis. Além disso, os corpos de alumina triturada feitos pelo processo descrito no pedido de patente copendente, do mesmo proprietário Nº 819.397, intitulado "Composit Ceramic Articles and Methods of Making Same" em nome de Marc. S. Newkirk et al., também apresentam propriedades de infiltração desejáveis em relação aos produtos de alumina comercialmente disponíveis. Os objectos do pedido de patente publicado e do pedido de patente copendente são aqui expressamente incorporados por referência. Especificamente, descobriu-se que a infiltração completa de uma massa permeável de material cerâmico pode ocorrer a temperaturas de infiltração mais baixas e/ou em tempos de infiltração menores utilizando um corpo triturado ou reduzido a partículas produzido pelo processo do pedido de patente e da patente americana atrás mencionados.

As dimensões, a forma, a composição química e a percentagem, em volume, do material de enchimento (ou do pré-molde) podem ser quaisquer necessárias para obter as propriedades desejadas no compósito. Assim, o material pode estar sob a forma de partículas, filamentos emaranhados, plaquetas ou fibras, visto que a infiltração não é limitada pela forma de material de enchimento. Outras formas, tais como esferas, túbulos, peletes, tecido de fibras refractárias e similares podem ser usadas. Além disso, as dimensões do

material não limitam a infiltração, embora possam ser necessários uma temperatura mais alta ou um período de tempo maior para a infiltração completa de uma massa de partículas mais pequenas do que para partículas maiores ou vice-versa, conforme as condições particulares da reacção. Podem utilizar-se com êxito na presente invenção diâmetros médios das partículas. São pequenos como um micrómetro ou menos até cerca de 1100 micrómetros ou mais, sendo preferível uma gama de cerca de 2 micrómetros a cerca de 1000 micrómetros para uma grande maioria de aplicações comerciais. Além disso, a massa de material de enchimento (ou o pré-molde) a ser infiltrada deve ser permeável (isto é conter pelo menos alguma porosidade interligada para a tornar permeável ao metal da matriz fundido e/ou à atmosfera infiltrante). Além disso, controlando as dimensões (por exemplo o diâmetro das partículas) e/ou a geometria e/ou a composição do material de enchimento ou de material que constitui o pré-molde, podem controlar-se ou pré-determinar-se as propriedades físicas e mecânicas do compósito com matriz de metal formado para satisfazer qualquer número de necessidades industriais. Por exemplo, podem aumentar-se a resistência ao desgaste do compósito com matriz de metal aumentando as dimensões do material de enchimento (por exemplo, aumentando o diâmetro médio das partículas do material de enchimento), visto que o material de enchimento apresenta uma resistência ao desgaste maior do que a do metal da matriz. Contudo, a resistência e/ou a rigidez podem tender a aumentar com a diminuição das dimensões do material de enchimento. Ainda, o coe-

ficiente de dilatação térmica do composto com matriz de metal pode diminuir com o aumento da carga de material de enchimento, dado que o coeficiente de dilatação térmica do material de enchimento é menor do que o coeficiente de dilatação térmica do metal da matriz. Além disso, as propriedades mecânicas e/ou físicas (por exemplo, a densidade, o coeficiente de dilatação térmica, o módulo de elasticidade e/ou o módulo específico, a resistência e/ou a resistência específica, etc.) de um corpo compósito com matriz de metal modelado podem ser pré-determinados conforme a carga de material de enchimento na massa solta ou no pré-molde. Por exemplo, proporcionando uma massa solta ou um pré-molde constituídos por uma mistura de partículas de material de enchimento com dimensões e/ou formas variadas, nas quais a densidade do material de enchimento é maior do que a do metal da matriz, pode obter-se uma carga de material de enchimento maior, devido à maior compactação do material de enchimento, resultando daí, um corpo compósito com matriz de metal com uma densidade maior. Utilizando os ensinamentos da presente invenção, a percentagem, em volume, de material de enchimento ou do pré-molde que pode ser utilizada pode variar dentro de uma faixa ampla. A percentagem, em volume, de material de enchimento mais baixa que pode ser infiltrada é limitada primeiramente pela possibilidade de se formar um material de enchimento ou um pré-molde porosos (por exemplo, cerca de 1% em volume); enquanto que a percentagem em volume mais alta de material de enchimento ou do pré-molde que pode ser infiltrada é limitada primariamente pela possibilidade de se formar um material de enchimen-

to ou um pré-molde densos com pelo menos uma certa porosidade interligada (por exemplo, 95%, em volume). Consequentemente, utilizando na prática qualquer dos ensinamentos anteriores, só ou em combinação, pode produzir-se um compósito com matriz de metal contendo uma combinação desejada de propriedades.

O processo de formação de compósitos com matriz de metal segundo a presente invenção, por não ser dependente do uso de pressão para forçar ou comprimir metal da matriz fundido para o interior de um pré-molde ou uma massa de material de enchimento, permite a produção de compósitos com matriz de metal substancialmente uniforme com uma elevada percentagem, em volume, de material de enchimento e uma baixa porosidade. Podem conseguir-se maiores percentagens, em volume, de material de enchimento utilizando uma massa inicial de material de enchimento, com menor porosidade. Maiores percentagens, em volume, podem também ser obtidas, se a massa de material de enchimento for compactada ou tornada mais densa de outro modo, desde que a massa não seja convertida nem numa massa compacta com poros fechados, nem numa estrutura completamente densa, que impediria a infiltração pela liga fundida. Especificamente, podem obter-se percentagens, em volume, da ordem de cerca de 60 a 80 por cento, em volume, por processos tais como a compactação vibratória, o controlo da distribuição das dimensões das partículas, etc. Contudo, podem usar-se técnicas alternativas para obter percentagens em volume, de material de enchimento ainda mais altas. Preferem-se percentagens, em volume, de material de enchimento da ordem de 40 a 50 por cento, para a termomodelação segundo a presente

invenção. Para tais percentagens, em volume, o compósito infiltrado mantém ou mantém substancialmente a sua forma, facilitando assim o processamento secundário. Podem no entanto usar-se cargas ou percentagens, em volume, de partículas maiores ou menores conforme a carga do compósito final desejada depois da termomodelação. Além disso, podem usar-se processos para reduzir as cargas de partículas em relação com os processos de termomodelação segundo a presente invenção para se obterem menores cargas de partículas.

Foi observado que para a infiltração de alumínio e a formação de uma matriz em torno de um material de enchimento cerâmico, o molhamento do material de enchimento cerâmico pelo metal da matriz de alumínio pode ser uma parte importante do mecanismo de infiltração. Além disso, o molhamento do material de enchimento pelo metal da matriz fundido pode permitir uma dispersão uniforme do material de enchimento por todo o compósito com matriz de metal formado e melhorar a ligação do material de enchimento com o metal da matriz. Além disso, com temperaturas de processamento baixas, verifica-se uma quantidade desprezível ou mínima de nitretação do metal, donde resulta uma fase descontínua mínima de nitreto de alumínio dispersa na matriz de metal. Contudo à medida que nos aproximamos do extremo superior da faixa de temperaturas é maior a probabilidade de se verificar a nitretação do metal. Desse modo pode controlar-se a quantidade da fase de nitreto da matriz de metal variando a temperatura de processamento a que se verifica a infiltração. A temperatura de processamento específica a que se verifica a formação de nitreto de maneira mais

pronunciada também varia com factores tais como a liga de alumínio da matriz usada e a sua quantidade em relação ao volume de material de enchimento ou do pré-molde, o material de enchimento a infiltrar e a concentração de azoto na atmosfera infiltrante. Por exemplo, crê-se que a extensão da formação de nitreto de alumínio a uma dada temperatura aumenta quando diminuir a capacidade de a liga molhar o material de enchimento e quando aumentar a concentração de azoto na atmosfera.

É pois possível, pré-determinar a constituição da matriz de metal durante a formação do compósito para conferir certas características ao produto resultante. Para um dado sistema, podem escolher-se as condições do processo para controlar a formação de nitreto. Um produto compósito contendo uma fase de nitreto de alumínio apresentará certas propriedades que podem ser favoráveis para, ou melhorar a eficácia do produto. Além disso, a gama de temperaturas para a infiltração espontânea com uma liga de alumínio pode variar com o material cerâmico usado. No caso de alumina como material de enchimento, a temperatura para a infiltração não deve de preferência exceder cerca de 1000°C , se se desejar que a ductilidade da matriz não seja reduzida pela formação significativa de nitreto. Contudo podem usar-se temperaturas superiores a 1000°C se se desejar produzir um compósito com uma matriz menos dúctil e mais rígida. Para infiltrar carboneto de silício, podem usar-se temperaturas mais elevadas, de cerca de 1200°C , visto que a liga de alumínio se nitrifica em menor grau, relativamente ao uso de alumina como material de enchimento, quando se usar o carboneto de silício como material de enchimento.

Além disso, a constituição do metal da matriz no interior do compósito com matriz de metal e os defeitos, por exemplo, porosidade, podem ser modificados pelo controlo da velocidade de arrefecimento do compósito com matriz de metal. Por exemplo, o compósito com matriz de metal pode ser solidificado direccionalmente por um certo número de técnicas, incluindo: a colocação do recipiente que contém o compósito com matriz de metal numa placa de refrigeração; e/ou a colocação selectiva de materiais isolantes em torno do recipiente. Além disso, podem modificar-se a constituição da matriz de metal após a formação do compósito com matriz de metal. Por exemplo, a exposição do compósito com matriz de metal modelado a um tratamento térmico pode melhorar a resistência à tracção do compósito com matriz de metal. (O ensaio normalizado da resistência à tracção é o ASTM-D3552-77 (re-aprovado em 1982)).

Por exemplo, um tratamento térmico desejável para um compósito com matriz de metal contendo uma liga de alumínio 520.0 como metal da matriz pode consistir no aquecimento do compósito com matriz de metal a uma temperatura elevada, por exemplo, a cerca de 430°C , a qual é mantida durante um intervalo de tempo prolongado (por exemplo 18-20 horas). A matriz de metal pode depois ser arrefecida em água fervente a cerca de 100°C durante cerca de 20 segundos (isto é, um tratamento térmico T-4) que pode temperar ou melhorar a capacidade dos compósitos para suportar esforços de tracção.

Além disso, é possível usar um reservatório de metal da matriz para assegurar a infiltração completa

do material de enchimento e/ou fornecer um segundo metal, que tem uma composição diferente da da primeira fonte de metal da matriz. Especificamente, em alguns casos pode ser utilizável um metal da matriz no reservatório com uma composição diferente de metal da matriz. Por exemplo, se se usar uma liga de alumínio como primeira fonte de metal da matriz, pode então usar-se substancialmente qualquer outro metal ou liga de metal que fundiu à temperatura de processamento, como metal do reservatório. Os metais fundidos são frequentemente muito miscíveis uns com os outros, dende resultaria a mistura do metal do reservatório com a primeira fonte de metal da matriz, desde que se desse um tempo apropriado para que se verificasse a mistura. Assim, utilizando um metal do reservatório com composição diferente da da primeira fonte de metal da matriz, é possível pré-determinar as propriedades da matriz de metal para satisfazer os vários requisitos operacionais e, desse modo, pré-determinar as propriedades do compósito com matriz de metal.

Pode utilizar-se também um meio da barreira em combinação com a presente invenção. Especificamente, o meio de barreira a utilizar com a presente invenção pode ser qualquer meio adequado que interfira, iniba, impeça ou interrompa a migração, o movimento ou similar, da liga da matriz fundida (por exemplo, uma liga de alumínio) para além do limite de superfície definido do material de enchimento. Os meios de barreira apropriados podem ser quaisquer material, composto, elementos, composição ou similar que, nas condições do processo segundo a presente invenção, mantém

uma certa integridade, não é volátil e, de preferência, é permeável ao gás usado com o processo, bem como possa localmente inibir, interromper, interferir com, impedir ou similar, a infiltração contínua ou qualquer outra espécie de movimento para além do limite de superfície definido do material de enchimento cerâmico. Os meios de barreira podem ser usados durante a infiltração espontânea ou em quaisquer moldes ou outros acessórios utilizados em ligação com a termomodelação do compósito com matriz de metal infiltrado espontaneamente, como se descreverá com mais pormenor mais adiante.

Os meios de barreira apropriados incluem materiais que são substancialmente não molháveis pela liga de metal da matriz funcional que migra, nas condições do processo usadas. Uma barreira desse tipo parece mostrar pouca ou nenhuma afinidade para a liga de matriz fundida, impedindo-se ou inibindo-se o movimento para além de limite de superfície definido do material de enchimento ou pré-molde por meio da barreira. A barreira reduz qualquer maquinagem ou rectificação finais que possam ser necessárias do produto compósito com matriz de metal. Como atrás se mencionou, a barreira deve, de preferência, ser permeável ou porosa, ou tornada permeável por meio de furos, para permitir que o gás contacte com a liga da matriz fundida.

Barreiras adequadas particularmente utilizáveis para as ligas de matriz de alumínio são as que contêm carbono, especialmente a forma alotrópica cristalina de carbono conhecida como grafite. A grafite é essencialmente

não molhável pela liga de alumínio fundida nas condições de processo descritas. Uma grafite particularmente preferida é um produto de folha de grafite que é vendido sob a marca comercial Grafoil^R, registada pela Union Carbide. Esta folha de grafite apresenta características de vedação que impedem a migração de liga de alumínio fundido para além do limite de superfície definido do material de enchimento. Esta folha de grafite é também resistente ao calor e quimicamente inerte. Esta folha de grafite Grafoil^R é flexível, compatível, moldável e elástica. Pode ser feita em várias formas para se adaptar a qualquer aplicação da barreira. Contudo, o meio de barreira de grafite pode ser empregado como uma pasta ou suspensão ou mesmo como uma película de tinta, em torno de e no limite do material de enchimento ou pré-molde. Grafoil^R é particularmente preferido porque se encontra na forma de uma folha de grafite flexível. Em uso, essa grafite semelhante a papel é simplesmente modelada em torno do material de enchimento ou pré-molde.

Outro ou outros meios de barreira para ligas da matriz de metal de alumínio em azoto são os boretos de metais de transição (por exemplo, diboreto de titânio (TiB_2)), que são em geral não molháveis pela liga de metal de alumínio fundida em certas condições do processo empregadas usando esse material. Com uma barreira deste tipo a temperatura não deve exceder cerca de $875^{\circ}C$ pois de outro modo o material de barreira torna-se menos eficaz, verificando-se de facto, com o aumento da temperatura a infiltração na barreira. Além disso, as dimensões das partículas do material de bar-

reira podem afectar a capacidade de o material inibir a infiltração espontânea.

Os boretos de um metal de transição encontram-se tipicamente numa forma de partículas (1-30 micrómetros). Os materiais de barreira podem ser aplicados como uma suspensão ou pasta nos limites da massa permeável de material de enchimento cerâmico que, de preferência, é moldada como um pré-molde.

Outras barreiras utilizáveis para ligas de metal de alumínio em azoto incluem compostos orgânicos de pequena volatibilidade aplicados como uma película ou camada na superfície externa do material de enchimento ou pré-molde. Mediante a cozedura em azoto, especialmente nas condições de processo da presente invenção, o composto orgânico decompõe-se deixando uma película de fuligem de carbono. O composto orgânico pode ser aplicado por meios convencionais tais como, pintura, pulverização, imersão, etc.

Além disso, materiais em partículas finalmente triturados podem funcionar como barreira, desde que a infiltração do material em partículas se verifique com uma velocidade menor que a taxa de infiltração do material de enchimento.

Assim, o meio de barreira pode ser aplicado por qualquer meio adequado, por exemplo cobrindo o limite de superfície definido com uma camada do meio de barreira. Essa camada de meio de barreira pode ser aplicada por pintura, imersão, serigrafia, evaporação ou aplicando de outro modo

o meio de barreira sob a forma de líquido, suspensão ou pasta, ou por deposição de um meio de barreira vaporizável, ou simplesmente pela deposição de uma camada de meio de barreira sólido, em partículas, ou pela aplicação de uma folha fina sólida ou película de meio de barreira no limite de superfície definido. Com o meio de barreira no seu lugar, a infiltração espontânea termina substancialmente quando a infiltração do metal da matriz atingir o limite de superfície definido e entrar em contacto com o meio de barreira.

Com referência à fig. 2, está ilustrado um conjunto típico (30) para a formação de um compósito com matriz de metal por uma técnica de vácuo autogerado segundo a presente invenção. Especificamente, colocou-se um material de enchimento ou pré-molde (32), que pode ser de qualquer material apropriado, como se descreve com maior pormenor mais adiante, num recipiente impermeável (32) que é susceptível de alojar um metal da matriz fundido (33) e uma atmosfera reactiva. Por exemplo, o material de enchimento (31) pode ser posto em contacto com uma atmosfera reactiva (por exemplo a atmosfera que existe no interior dos poros do material de enchimento ou do pré-molde) durante um tempo suficiente para permitir que a atmosfera reactiva atravessasse os poros do material de enchimento (31) no recipiente impermeável (32), parcialmente ou de maneira substancialmente completa. O metal da matriz (33), na forma fundida ou na forma de um lingote sólido, é depois colocado em contacto com o material de enchimento (31). Como se descreve com mais pormenor mais adiante numa forma de realização preferida, pode proporcio-

nar-se uma vedação extrínseca ou um meio de vedação extrínseco (34), por exemplo na superfície do metal da matriz (33), para isolar a atmosfera reactiva da atmosfera ambiente (37). Os meios de vedação, quer sejam extrínsecos, quer intrínsecos, podem ou não funcionar como meios de vedação à temperatura ambiente, mas devem funcionar como meios de vedação nas condições do processo (por exemplo à temperatura do ponto de fusão do metal da matriz ou a uma temperatura superior). Coloca-se depois o conjunto (30) num forno, que está à temperatura ambiente ou foi pré-aquecido até cerca da temperatura do processo. Nas condições do processo, o forno funciona a uma temperatura superior ao ponto de fusão do metal da matriz, para permitir a infiltração de metal da matriz fundido no interior do material de enchimento ou do pré-molde pela formação de um vácuo autogerado.

Com referência à fig. 3, nela está representado um fluxograma simplificado das fases do processo para a realização do processo segundo a presente invenção. Na fase (21), pode fabricar-se ou obter-se de outro modo um recipiente impermeável apropriado, que possui, as propriedades apropriadas, descritas com mais pormenor mais adiante. Por exemplo, um simples cilindro de aço (por exemplo de aço inoxidável) com a parte superior aberta é apropriado para ser usado como molde. O recipiente de aço pode então optativamente ser forrado com GRAFOIL^R, uma fita de grafite (GRAFOIL^R é uma marca registada da Union Carbide) para facilitar a remoção do corpo compósito da matriz de metal que se pretende formar no recipiente. Como mais adiante se descreve com mais

pormenor, podem também usar-se para facilitar o desprendimento do corpo compósito de matriz de metal do recipiente ou molde outros materiais, tais como B_2O_3 pulverizado no interior do recipiente, ou estanho que é adicionado ao metal da matriz. O recipiente pode depois ser carregado com uma quantidade desejada de um material de enchimento ou com um pré-molde que, optativamente pode ser pelo menos parcialmente coberto com uma outra camada de fita GRAFOIL^R. Essa camada de fita de grafite facilita a separação do corpo compósito com matriz de metal de qualquer carcassa de metal da matriz que fique depois de infiltração do material de enchimento.

Pode depois vaziar-se no interior do recipiente uma certa quantidade de metal da matriz fundido, por exemplo alumínio, bronze, cobre, ferro fundido, magnésio, etc. O recipiente pode estar à temperatura ambiente ou pode ter sido pré-aquecido a qualquer temperatura apropriada. Além disso, o metal da matriz pode inicialmente ser proporcionado sob a forma de lingotes sólidos de metal da matriz e depois aquecido para fundir os lingotes. Pode depois formar-se um meio de vedação apropriado (descrito mais adiante com mais pormenor), escolhido do grupo formado por um meio de vedação extrínseco e um meio de vedação intrínseco. Por exemplo, se se desejar formar uma vedação extrínseca, pode aplicar-se um meio de vedação extrínseca, tal como uma frita de vidro (por exemplo B_2O_3) na superfície da massa de metal da matriz fundido no recipiente. A frita então funde, cobrindo tipicamente a massa de líquido mas, como mais adiante se descreve com mais pormenor, não é necessária uma cobertura

completa. Depois de se pôr em contacto o metal da matriz fundido com um material de enchimento ou um pré-molde e de vedar o metal da matriz e/ou o material de enchimento da atmosfera ambiente por um meio de vedação extrínseco, se necessário, coloca-se o recipiente num forno apropriado, que pode ser pré-aquecido até à temperatura do processo, durante um intervalo de tempo apropriado para permitir que se verifique a infiltração. A temperatura de processamento do forno pode ser diferente para metais da matriz diferentes (por exemplo, cerca de 950°C para algumas ligas de alumínio e cerca de 1100°C para algumas ligas de bronze são temperaturas desejáveis). A temperatura de processamento apropriada variará conforme o ponto de fusão e outras características do metal da matriz, bem como de características de componentes no sistema da reacção e os meios de vedação. Depois de um certo tempo à temperatura do forno, cria-se um vácuo (descrito mais adiante com mais pormenor) no interior do material de enchimento ou do pré-molde, permitindo assim que metal da matriz fundido se infiltre no material de enchimento ou no pré-molde. O recipiente pode depois ser removido do forno e arrefecido, por exemplo, colocando-o numa placa de arrefecimento, para solidificar direccionalmente o metal da matriz. O compósito com matriz de metal pode depois ser retirado, de qualquer maneira conveniente, do recipiente e separado da carcassa de metal da matriz, se ela existir.

Compreender-se-á que as descrições anteriores das fig. 2 e 3 são simplesmente para esclarecer características salientes da presente invenção. Outros pormenores

das fases do processo e das características dos materiais que podem ser usados no processo são apresentados mais adiante.

Sem pretender ficar limitado por qualquer teoria ou explicação particulares, crê-se que, quando um metal da matriz apropriado, tipicamente no estado fundido, contacta com um material de enchimento ou um pré-molde apropriados na presença de uma atmosfera reactiva apropriada num recipiente impermeável, pode verificar-se uma reacção entre a atmosfera reactiva e o metal da matriz fundido e/ou o material de enchimento ou o pré-molde e/ou o recipiente impermeável donde resulta um produto da reacção (por exemplo um sólido, um líquido ou um vapor) que ocupa um volume menor do que o volume inicial ocupado pelos componentes que reagiram. Quando a atmosfera reactiva estiver isolada da atmosfera ambiente, pode criar-se um vácuo no material de enchimento ou no pré-molde permeáveis, que arrasta metal da matriz fundido para o interior dos espaços vazios do material de enchimento. A reacção continuada entre a atmosfera reactiva e o metal da matriz fundido e/ou o material de enchimento ou o pré-molde e/ou o recipiente impermeável pode ter como consequência a infiltração do metal da matriz no material de enchimento ou no pré-molde, enquanto se gera um vácuo adicional. A reacção pode continuar durante o tempo suficiente para permitir que o metal da matriz fundido se infiltre, parcialmente ou de maneira substancialmente completa, na massa do material de enchimento ou do pré-molde. O material de enchimento ou o pré-molde devem ser suficientemente permeáveis para permi-

tir que a atmosfera reactiva atravessasse, pelo menos parcialmente, a massa do material de enchimento ou do pré-molde.

Este pedido de patente discute vários metais da matriz que em algum instante, durante a formação de um compósito com matriz de metal, estão em contacto com uma atmosfera reactiva. Assim, serão feitas várias referências a combinações ou sistemas particulares de metal da matriz/atmosfera reactiva. Especificamente, verificou-se o comportamento de formação de um vácuo autogerado no sistema alumínio/ar, no sistema alumínio/oxigénio, no sistema alumínio/azoto, no sistema bronze/ar, no sistema bronze/azoto, no sistema cobre/ar, no sistema cobre/azoto e no sistema ferro fundido/ar. Contudo, compreender-se-á que podem comportar-se da mesma maneira outros sistemas de metal/atmosfera reactiva diferentes dos especificados no presente pedido de patente.

Para levar à prática a técnica do vácuo autogerado segundo a presente invenção, é necessário que a atmosfera reactiva esteja fisicamente isolada da atmosfera ambiente de modo tal que a pressão reduzida da atmosfera reactiva que existe durante a infiltração não seja afectada de maneira adversa significativamente por quaisquer gases transportados da atmosfera ambiente. Um recipiente impermeável que pode ser utilizado no processo segundo a presente invenção pode ser um recipiente de quaisquer dimensões, de qualquer forma e/ou de qualquer composição que pode ou não ser não reactivo com o metal da matriz e/ou com a atmosfera reactiva e que seja impermeável à atmosfera ambiente nas condi-

ções do processo. Especificamente, o recipiente impermeável pode compreender qualquer material (por exemplo cerâmica, metal, vidro, polímero, etc.) que possa sobreviver às condições do processo de modo que mantenha as suas dimensões e a sua forma e que impeça ou iniba suficientemente o transporte da atmosfera ambiente através do recipiente. Utilizando-se um recipiente suficientemente impermeável para transportar a atmosfera através do recipiente, é possível formar um vácuo autogerado no interior do recipiente. Além disso, conforme o sistema de reacção particular usado, pode utilizar-se um recipiente impermeável que seja pelo menos parcialmente reactivo com a atmosfera reactiva e/ou com o metal da matriz e/ou com o material de enchimento, para criar ou ajudar a criar um vácuo auto-gerado no interior do recipiente.

As características de um recipiente impermeável apropriado são a ausência de poros, rachas ou óxidos reductíveis, qualquer destas coisas podendo interferir de maneira adversa com o desenvolvimento ou a manutenção de um vácuo autogerado. Assim, compreender-se-á que pode utilizar-se uma ampla variedade de materiais para formar os recipientes impermeáveis. Por exemplo, podem usar-se alumina moldada ou vazada ou carboneto de silício, bem como metais com solubilidade limitada ou baixa no metal da matriz, por exemplo aço inoxidável, para metais da matriz de alumínio, cobre e bronze.

Além disso, materiais, de outro modo não apropriados, tais como materiais porosos (por exemplo corpos cerâmicos) podem impermeabilizar-se por formação de um reves-

timento apropriado pelo menos numa porção dos mesmos. Tais revestimentos impermeáveis podem ser um qualquer de uma grande variedade e geles apropriados para se ligarem a tais materiais porosos e vedá-los. Além disso, um revestimento impermeável apropriado pode ser líquido às temperaturas do processo, caso em que o material de revestimento deve ser suficientemente estável para se manter impermeável sob o vácuo autogerado, por exemplo aderindo de maneira viscosa ao recipiente ou ao material de enchimento ou ao pré-molde. Os materiais de revestimento apropriados incluem materiais vítreos (por exemplo B_2O_3), cloretos, carbonatos, etc., desde que as dimensões dos poros do material de enchimento ou do pré-molde sejam suficientemente pequenas para formar um revestimento impermeável.

O metal da matriz usado no processo segundo a presente invenção pode ser qualquer metal da matriz que, quando fundido nas condições do processo, se infiltra no material de enchimento ou do pré-molde pela criação de um vácuo no interior do material de enchimento. Por exemplo, o metal da matriz pode ser qualquer metal, ou constituinte no interior do metal, que reaja com a atmosfera reactiva nas condições do processo, parcialmente ou de maneira substancialmente completa, fazendo desse modo com que o metal da matriz fundido se infiltre no material de enchimento ou no pré-molde, devido, pelo menos em parte, à criação de um vácuo no seu interior. Além disso, conforme o sistema usado, o metal da matriz pode ser parcialmente ou de maneira substancialmente completa não reactivo com a atmosfera reactiva, e

criar-se um vácuo devido a uma reacção da atmosfera reactiva com, optativamente, um ou mais outros componentes do sistema de reacção, permitindo desse modo que o metal da matriz se infiltre no material de enchimento.

Numa forma de realização preferida, o metal da matriz pode formar uma liga com um intensificador do molhamento para facilitar a capacidade de molhamento do metal da matriz, facilitando assim, por exemplo, a formação de uma ligação entre o metal da matriz e o material de enchimento, reduzindo a porosidade no compósito de matriz de metal formado, reduzindo o tempo necessário para completar a infiltração, etc. Além disso, um material que compreende um intensificador do molhamento pode também actuar como um facilitador da vedação, como se descreve mais adiante, para ajudar o isolamento da atmosfera reactiva da atmosfera ambiente. Mais ainda, numa outra forma de realização preferida, o intensificador do molhamento pode ser incorporado directamente no material de enchimento em vez de formar uma liga com o metal da matriz.

Assim, o molhamento do material de enchimento pelo metal da matriz pode melhorar as propriedades (por exemplo a resistência à tracção, a resistência à erosão, etc.) do corpo compósito resultante. Além disso, o molhamento do material de enchimento pelo metal da matriz fundido pode permitir uma dispersão uniforme do material de enchimento por todo o compósito com matriz de metal formado e melhorar a ligação do material de enchimento ao metal da matriz. Os intensificadores do molhamento utilizáveis para um metal da

matriz de alumínio incluem o magnésio, o bismuto, o chumbo, o estanho, etc., e para o bronze e o cobre incluem o selênio, o telúrio, o enxofre, etc. Além disso, como atrás se discutiu, pode adicionar-se pelo menos um intensificador de molhamento ao metal da matriz e/ou ao material de enchimento para comunicar as propriedades desejadas ao corpo compósito com matriz de metal resultante.

Além disso, é possível utilizar um reservatório de metal da matriz para assegurar a infiltração completa de metal da matriz no material de enchimento e/ou para fornecer um segundo metal com uma composição diferente da primeira fonte de metal da matriz. Especificamente, em alguns casos pode ser desejável utilizar um metal da matriz no reservatório com uma composição diferente da primeira fonte de metal da matriz. Por exemplo, se se usar uma liga de alumínio como primeira fonte de metal da matriz, então pode usar-se como metal do reservatório substancialmente qualquer outro metal ou liga metálica que esteja fundida à temperatura do processo. Os metais fundidos são frequentemente miscíveis uns com os outros, o que teria como consequência que o metal do reservatório se misturaria com a primeira fonte de metal da matriz, desde que se permitisse um tempo apropriado para que se verificasse a mistura. Assim, utilizando um metal num reservatório de composição diferente do da primeira fonte de metal da matriz, é possível pré-determinar as propriedades do metal da matriz para satisfazer vários requisitos operacionais e desse modo pré-determinar as propriedades do corpo com matriz de metal.

A temperatura a que o sistema de reacção fica exposto (por exemplo a temperatura de processamento) pode variar conforme os metais da matriz, os materiais de enchimento ou os pré-moldes, e as atmosferas reactivas usados. Por exemplo, para um metal da matriz de alumínio, o presente processo do vácuo autogerado geralmente prossegue a uma temperatura de pelo menos cerca de 700°C e, de preferência, de cerca de 850°C ou mais. Não são necessárias temperaturas superiores a $1\ 100^{\circ}\text{C}$, em geral, sendo particularmente utilizáveis temperaturas na gama dos 850 a $1\ 000^{\circ}\text{C}$. Para um metal da matriz de bronze ou de cobre podem utilizar-se temperaturas de cerca de $1\ 050^{\circ}$ a cerca de $1\ 125^{\circ}\text{C}$ e para o ferro fundido, temperaturas de cerca de $1\ 250$ a 1400°C . Em geral, podem usar-se temperaturas superiores ao ponto de fusão, mas inferiores ao ponto de volatilização do metal da matriz usado.

É possível pré-determinar a composição e/ou a microestrutura da matriz de metal durante a formação do compósito para conferir características desejadas ao produto resultante. Por exemplo, para um sistema dado, podem escolher-se as condições do processo para controlar a formação de, por exemplo, compostos intermetálicos, óxidos, nitretos, etc. Além disso, adicionalmente à pré-determinação da composição do corpo compósito, outras características físicas, por exemplo a porosidade, podem ser modificadas controlando a velocidade de arrefecimento do corpo compósito com matriz de metal. Em alguns casos, pode ser desejável que o compósito com matriz de metal seja solidificado direccionalmente, colocando, por exemplo, o recipiente que contém o compósito com ma-

triz de metal formado sobre uma placa de arrefecimento e/ou colocando materiais isolantes selectivamente em torno do recipiente. Além disso, podem controlar-se outras propriedades (por exemplo a resistência à tracção) do compósito com matriz de metal formado utilizando um tratamento térmico (por exemplo, um tratamento térmico normalizado que corresponde substancialmente a um tratamento térmico para apenas o metal da matriz, ou um tratamento parcial ou significativamente modificado).

Nas condições utilizadas no processo segundo a presente invenção, a massa de material de enchimento ou do pré-molde deve ser suficientemente permeável para permitir que a atmosfera reactiva penetre ou atravesse os poros do material de enchimento ou do pré-molde em algum instante durante o processo, antes do isolamento da atmosfera ambiente da atmosfera reactiva. Nos exemplos dados mais adiante, que utilizam a técnica do vacuo autogerado uma quantidade suficiente de atmosfera reactiva estava contida no interior de partículas pouco compactadas, com dimensões das partículas de cerca de 54 a cerca de 200 grit. Proporcionando-se um tal material de enchimento, a atmosfera reactiva pode, parcialmente ou de maneira substancialmente completa, reagir após contacto com o metal da matriz fundido e/ou com o material de enchimento e/ou com o recipiente impermeável, resultando daí a criação de um vácuo que arrasta metal da matriz fundido para o interior do material de enchimento. Além disso, a distribuição da atmosfera reactiva no interior do material de enchimento não tem de ser substancialmente uniforme, embora uma distribuição substancialmente uniforme da atmosfera reactiva possa ajudar a for-

mação de um corpo compósito com matriz de metal desejável.

O processo segundo a presente invenção para a formação de um corpo compósito com matriz de metal é aplicável a uma grande variedade de materiais de enchimento, dependendo a escolha dos materiais largamente de factores tais como o metal da matriz, as condições do processamento, a reactividade do metal da matriz fundido com a atmosfera reactiva, a reactividade do metal da matriz fundido com o recipiente impermeável e as propriedades previstas para o produto compósito final. Por exemplo, quando o metal da matriz compreender alumínio, os materiais de enchimento apropriados incluem: a) óxidos (por exemplo alumina); b) carbonetos (por exemplo carboneto de silício); c) nitretos (por exemplo nitreto de titânio. Se houver tendência para o material de enchimento reagir de maneira adversa com o metal da matriz fundido, tal reacção pode ser compensada minimizando o tempo de infiltração e a temperatura ou proporcionando um revestimento não reactivo no material de enchimento. O material de enchimento pode compreender um substracto, tal como carbono ou outro material não cerâmico, que leva um revestimento cerâmico para proteger o substracto de ataque ou degradação. Os revestimentos cerâmicos apropriados incluem óxidos, carbonetos e nitretos. As cerâmicas preferidas para ser usadas no processo da presente invenção incluem a alumina e o carboneto de silício sob a forma de partículas, plaquetas, filamentos emaranhados e fibras. As fibras podem ser descontínuas (na forma cortada) ou sob a forma de filamentos contínuos, tais como estopas de multifilamentos. Além disso, a composição

e/ou a forma do material de enchimento ou do pré-molde podem ser homogêneos ou heterogêneos.

As dimensões e a forma do material de enchimento podem ser quaisquer que sejam necessárias para obter as propriedades desejadas do compósito. Assim, o material pode ter a forma de partículas, de filamentos emaranhados, plaquetas ou fibras, visto que a infiltração não é limitada pela forma do material de enchimento. Podem também ser usadas outras formas, tais como esferas, pérolas, túbulos, peletes, tecido refractário de fibras e outras análogas. Além disso, as dimensões do material não limitam a infiltração embora possam ser necessários uma temperatura mais elevada ou um tempo mais longo para obter a infiltração completa de uma massa de partículas menores que de partículas maiores. Preferem-se, para a maioria das aplicações técnicas, dimensões médias das partículas que vão desde menos de 24 grit a cerca de 500 grit. Além disso, controlando as dimensões (por exemplo o diâmetro das partículas, etc.) da massa permeável do material de enchimento ou do pré-molde, podem pré-determinar-se as propriedades físicas e/ou mecânicas do compósito com matriz de metal formado para satisfazer um número ilimitado de aplicações industriais. Mais ainda, incorporando um material de enchimento que compreende partículas de material de enchimento com dimensões diferentes, pode obter-se uma compactação maior do material de enchimento para obter um corpo compósito com propriedades pré-determinadas. Por outro lado, é possível obter menores cargas de partículas, se se desejar, agitando o material de enchimento (por exemplo abanando o recipiente) durante a infiltração

e/ou misturando metal da matriz em pó com o material de enchimento, antes da infiltração.

A atmosfera reactiva utilizada no processo segundo a presente invenção pode ser qualquer atmosfera que reaja, pelo menos parcialmente, ou de maneira substancialmente completa, com o metal da matriz fundido e/ou com o material de enchimento e/ou com o recipiente impermeável, para formar um produto da reacção que ocupa um volume menor do que o volume ocupado pela atmosfera e/ou os componentes da reacção antes da reacção. Especificamente, a atmosfera reactiva, em contacto com o metal da matriz fundido e/ou o material de enchimento e/ou o recipiente impermeável, pode reagir com um ou mais componentes do sistema de reacção para formar um produto da reacção sólido, líquido ou em fase de vapor, que ocupa um volume menor do que o dos componentes individuais combinados, criando assim um vazio ou vácuo que ajuda a arrastar metal da matriz fundido para o interior do material de enchimento ou do pré-molde. A reacção entre a atmosfera reactiva e o metal da matriz e/ou o material de enchimento e/ou o recipiente impermeável, pode continuar durante um tempo suficiente para que o metal da matriz se infiltre, pelo menos parcialmente ou de maneira substancialmente completa, no material de enchimento. Por exemplo, quando se usar ar como atmosfera reactiva, uma reacção entre o metal da matriz (por exemplo alumínio) e o ar pode ter como consequência a formação de produtos da reacção (por exemplo alumina e/ou nitreto de alumínio, etc). Nas condições do processo, o ou os produtos da reacção tendem a ocupar um volume menor do que o volume total ocupado pelo alumínio

fundido que reage com o ar. Como consequência da reacção, gera-se um vácuo, fazendo-se assim com que o metal da matriz fundido se infiltre no material de enchimento ou no pré-molde. Conforme o sistema utilizando, o material de enchimento e/ou o recipiente impermeável podem reagir com a atmosfera reactiva de uma maneira semelhante para gerar um vácuo, auxiliado assim a infiltração do metal da matriz fundido no interior do material de enchimento. A reacção que produz o vácuo autogera do pode continuar durante um tempo suficiente para conduzir à formação de um corpo compósito com matriz de metal.

Além disso, verificou-se que pode proporcionar-se uma vedação ou um meio de vedação para ajudar a impedir ou limitar o fluxo da gases a partir da atmosfera ambiente para o interior do material de enchimento ou do pré-molde (por exemplo, impedir o fluxo da atmosfera ambiente para a atmosfera reactiva). Fazendo novamente referência à fig. 2 a atmosfera reactiva no interior do recipiente impermeável (32) e do material de enchimento (31) deve ser suficientemente isolada da atmosfera ambiente (37) de modo que enquanto continua a reacção entre a atmosfera reactiva e o metal da matriz fundido (33) e/ou o material de enchimento ou o pré-molde (31) e/ou o recipiente impermeável (32), se estabeleça uma diferença de pressões, que é mantida, entre as atmosferas reactiva e ambiente, até se ter conseguido a infiltração desejada. Compreender-se-á que o isolamento entre as atmosferas reactiva e ambiente não necessita de ser perfeito, bastando antes ser "suficiente", de modo a estar presente uma diferença líquida de pressões (por exemplo, pode haver um fluxo de fase

de vapor da atmosfera ambiente para a atmosfera reactiva desde de que o caudal seja menor do que o necessário imediatamente para reencher a atmosfera reactiva). Como atrás se descreveu, uma parte do isolamento necessário da atmosfera ambiente da atmosfera reactiva é proporcionada pela impermeabilidade do recipiente (32). Como a maior parte dos metais da matriz são também suficientemente impermeáveis à atmosfera ambiente, a massa de metal da matriz fundido (33) proporciona uma outra parte do isolamento necessário. É no entanto importante notar que a interface entre o recipiente impermeável (32) e o metal da matriz pode proporcionar um trajecto de fugas entre as atmosferas ambiente e reactiva. Por conseguinte, deve proporcionar-se uma vedação que iniba ou evite suficientemente essas fugas.

As vedações ou meios de vedação apropriados podem ser classificados como mecânicos, físicos ou químicos, podendo cada um deles ser classificado em extrínseco e intrínseco. Por "extrínseco" entende-se que a acção de vedação surge independentemente do metal da matriz fundido, ou adicionalmente a qualquer acção de vedação proporcionada pelo metal da matriz fundido (por exemplo, a partir de um material adicionado aos outros elementos do sistema da reacção); por "intrínseco" significa-se que a acção de vedação resulta exclusivamente de uma ou mais características do metal da matriz (por exemplo, da capacidade de o metal da matriz molhar o recipiente impermeável). Uma vedação mecânica intrínseca pode ser formada proporcionando simplesmente uma massa líquida suficientemente profunda de metal da matriz fundido

ou submergindo o material de enchimento ou o pré-molde, como nas patentes de Reding e de Reding et al atrás mencionadas, e nas patentes com elas relacionadas.

Contudo, verificou-se que as vedações mecânicas intrínsecas, como se definem, por exemplo, por Reding, Jr, são ineficientes numa grande variedade de aplicações, podendo requerer quantidades excessivamente grandes de metal da matriz fundido. Segundo a presente invenção, verificou-se que as vedações extrínsecas e as classes física e mecânica de vedações intrínsecas ultrapassam esses inconvenientes de uma vedação mecânica intrínseca. Numa forma de realização preferida de uma vedação extrínseca, pode aplicar-se um meio de vedação externamente na superfície do metal da matriz sob a forma de um material sólido ou líquido que, nas condições do processo, pode ser substancialmente não reactivo com o metal da matriz. Verificou-se que uma tal vedação extrínseca impede, ou pelo menos inibe suficientemente, o transporte dos constituintes em fase de vapor da atmosfera ambiente para a atmosfera reactiva. Os materiais apropriados para ser usados como meios de vedação físicos extrínsecos podem ser sólidos ou líquidos, incluindo vidros (por exemplo vidros de boro e silício, B_2O_3 , óxidos fundidos, etc.) ou qualquer ou quaisquer outros materiais que inibem suficientemente o transporte da atmosfera ambiente para a atmosfera reactiva nas condições do processo.

Uma vedação mecânica extrínseca pode ser formada alisando ou polindo previamente, ou modelando de outro modo, a superfície interior do recipiente impermeável em con

tacto com a massa líquida de metal da matriz, de modo que seja suficientemente inibido o transporte de gases entre a atmosfera ambiente e a atmosfera reactiva. Vidrados e revestimentos, tais como de B_2O_3 , que podem ser aplicados ao recipiente para o tornar impermeável, podem também proporcionar uma vedação apropriada.

Uma vedação química extrínseca poderia ser proporcionada colocando um material na superfície de um metal da matriz fundido que seja reactivo com, por exemplo, o recipiente impermeável. O produto da reacção pode compreender um composto intermetálico, um óxido, um carboneto, etc.

Numa forma de realização preferida de uma vedação física intrínseca, o metal da matriz pode reagir com a atmosfera ambiente para formar uma vedação ou meios de vedação com uma composição diferente da composição do metal da matriz. Por exemplo, por reacção do metal da matriz com a atmosfera ambiente pode formar-se um produto da reacção (por exemplo MgO e/ou espinela de aluminato de magnésio, no caso de uma liga de $Al-Mg$ reagir com ar, ou óxido de cobre, no caso de uma liga de bronze reagir com ar), o qual pode vedar a atmosfera reactiva da atmosfera ambiente. Numa outra forma de realização de uma vedação física intrínseca, pode adicionar-se um facilitador da vedação ao metal da matriz para facilitar a formação de uma vedação por reacção entre o metal da matriz e a atmosfera ambiente (por exemplo, pela adição de magnésio, bismuto, chumbo, etc., para metais da matriz de alumínio, ou a adição de selénio, telúrio, enxofre, etc., para metais da matriz de cobre ou de bronze. Formando

um meio de vedação químico intrínseco, o metal da matriz pode reagir com o recipiente impermeável (por exemplo por dissolução parcial do recipiente ou do seu revestimento (intrínseco) ou formando um produto da reacção ou compostos intermetálicos, etc., que possam vedar o material de enchimento da atmosfera ambiente.

Além disso, compreender-se-á que a vedação deve ser susceptível de compensar variações volumétricas (isto é, de expansão ou de contracção) ou outras variações no sistema da reacção, sem permitir que a atmosfera ambiente flua para o interior do material de enchimento (por exemplo, fluxo para o interior da atmosfera reactiva). Especificamente, à medida que o metal da matriz se infiltra na massa permeável do material de enchimento ou do pré-molde, a profundidade do metal da matriz no recipiente pode tender a diminuir. Os meios de vedação apropriados para um tal sistema devem ser suficientemente flexíveis para impedir o transporte da atmosfera ambiente para o material de enchimento à medida que diminui o nível do metal da matriz fundido no recipiente.

Pode também utilizar-se um meio de barreira em combinação com a presente invenção. Especificamente, um meio de barreira que pode ser usado no processo segundo a presente invenção pode ser qualquer meio apropriado que interfira, iniba, impeça ou interrompa a migração, o movimento, ou similar, de metal da matriz fundido para além do limite de superfície definido do material de enchimento. Um meio de barreira apropriado pode ser qualquer material, composto,

elemento, composição, ou similar, que, nas condições do processo da presente invenção, mantenha alguma integridade, não seja volátil e seja susceptível de inibir, interromper com, evitar, ou similar, localmente, a infiltração continuada ou qualquer outro tipo de movimento para além do limite de superfície definido do material de enchimento. Os meios de barreira podem ser usados durante a infiltração por vácuo autogerado ou em qualquer recipiente impermeável utilizado em ligação com a técnica do vácuo autogerado para formar compósitos com matriz de metal, como mais adiante se descreve com mais pormenor.

Os meios de barreira apropriados incluem materiais que são molháveis ou não molháveis pelo metal da matriz fundido em migração, nas condições do processo utilizadas, desde que o molhamento dos meios de barreira não prosiga substancialmente para além da superfície do material de barreira (isto é, um molhamento de superfície). Uma barreira deste tipo mostra uma pequena ou nula afinidade para a liga de matriz fundida, e o movimento para além do limite de superfície definido do material de enchimento ou pré-molde é evitado ou inibido pelos meios de barreira. A barreira reduz qualquer maquinagem ou rectificação que possam ser necessárias no produto compósito com matriz de metal.

Barreiras apropriadas que podem ser usadas particularmente para metais da matriz de alumínio são as que contêm carbono, em especial a forma alotrópica cristalina do carbono conhecida por grafite. A grafite é substancialmente não molhável pela liga de alumínio fundida, nas condições

do processo descritas. Uma grafite particularmente preferida é a fita de grafite GRAFOIL^R, produto que apresenta características que impedem a migração da liga de alumínio fundida para além do limite de superfície definido do material de enchimento. Esta fita de grafite é também resistente ao calor e é quimicamente substancialmente inerte. A fita de grafite GRAFOIL^R é flexível, compatível, modelável e elástica, e pode ser feita com uma certa variedade de formas para se adaptar à maioria das aplicações da barreira. Os meios de barreira de grafite podem também ser aplicados sob a forma de uma lama ou pasta ou mesmo sob a forma de uma película de pintura em torno de, e sobre o limite do material de enchimento ou do pré-molde. A fita de GRAFOIL^R é particularmente preferível porque se encontra na forma de uma folha de grafite flexível. Um processo de utilização deste material de grafite semelhante a uma folha de papel consiste em embrulhar o material de enchimento ou o pré-molde a infiltrar no interior de uma camada de material GRAFOIL^R. Em alternativa, o material de folha de grafite pode ser modelado como um molde em negativo com uma forma desejada para o corpo compósito de matriz de metal, podendo este molde em negativo ser depois cheio com o material de enchimento.

Além disso, outros materiais finamente moídos em partículas, tais como alumina de 500 grit, podem funcionar como uma barreira, em certas situações, desde que a infiltração do material de barreira em partículas se verifique com uma velocidade menor do que a velocidade de infiltração do material de enchimento.

Os meios de barreira podem ser aplicados por quaisquer meios apropriados, tais como cobrindo o limite de superfície definido com uma camada do meio de barreira. Uma tal camada de meio de barreira pode ser aplicada por pintura, por imersão, por serigrafia, por evaporação, ou aplicada de outro modo sob a forma de um líquido, de uma lama ou de uma pasta, ou por deposição catódica de meios de barreira vaporizáveis, ou simplesmente depositando uma camada de um meio de barreira sólido em partículas, ou aplicando uma fina folha ou película sólida de meios de barreira sobre o limite de superfície definido. Com os meios de barreira no lugar, a infiltração por vácuo autogerado termina substancialmente quando o metal da matriz que se infiltra atingir o limite de superfície definido e contactar com os meios de barreira.

O processo segundo a presente invenção para a formação de um compósito com matriz de metal pela técnica do vácuo autogerado, em combinação com a utilização de um meio de barreira, proporciona vantagens significativas em relação à técnica anterior. Especificamente, utilizando-se o processo segundo a presente invenção, pode produzir-se um corpo compósito com matriz de metal sem a necessidade de um processamento caro e complicado. Num aspecto da presente invenção, um recipiente impermeável, que pode ser um recipiente existente no comércio ou feito de propósito para uma necessidade especial, pode conter um material de enchimento ou um pré-molde com uma forma desejada, uma atmosfera reactiva e meios de barreira para interromper a infiltração do compósito com matriz de metal para além da superfície do corpo

compósito formado resultante. Por contacto da atmosfera com o metal da matriz, que pode ser vazado no recipiente impermeável e/ou no material de enchimento, nas condições do processo, pode criar-se um vácuo autogerado, fazendo assim com que o metal da matriz fundido se infiltre no interior do material de enchimento. O presente processo evita a necessidade de fases de processamento complexas, por exemplo a maquinaria de moldes para obter formas complexas, a manutenção de banhos do metal fundido, a remoção de peças formadas a partir de moldes de forma complexa, etc. Além disso, minimiza-se substancialmente o deslocamento de um material de enchimento pelo metal da matriz fundida proporcionando um recipiente estável que não é submerso no interior de um banho de metal fundido.

Nos Exemplos seguintes estão incluídas várias demonstrações da presente invenção. No entanto, estes exemplos devem ser considerados como ilustrativos e não deve admitir-se que eles constituam uma limitação do escopo da presente invenção, tal como é definido nas reivindicações anexas.

Exemplo 1

Este exemplo demonstra que pode usar-se com êxito uma certa variedade de geometrias do material de enchimento para formar corpos de compósitos com matriz de metal pela técnica de infiltração espontânea. Quadro I contém resumos das condições experimentais empregadas para formar vá-

rios corpos compósitos com matriz de metal, incluindo vários metais da matriz, várias geometrias do material de enchimento, várias temperaturas de processamento e vários tempos de processamento.

Amostra A

Preparou-se um molde de sílica com uma cavidade interior medindo cerca de (127 mm (5")) de comprimento por cerca de 127 mm (5") de largura por cerca de 83 mm (3,25") de profundidade, e tendo cinco furos de cerca de 19 mm (0,75") de diâmetro e cerca de 19 mm (0,75") de profundidade, na parte inferior do molde de sílica. O molde foi formado misturando primeiro uma pasta constituída por cerca de 2,5 a 3 partes em peso, de pó de sílica (RANCO - SIL^R A, da Ranson e Randolph, Naunee, OH), cerca de 1 parte em peso, de sílica coloidal (Nyacol^R 830 da Nyacol Products Inc., Ashland, NA) e cerca de 1 a 1,5 partes de areia de sílica (RANCO - SIL^R A. Vendido pela Ransom & Randolph, Naunee, OH). Vazou-se a mistura da pasta num molde de borracha com uma forma, em negativo, da cavidade interior desejada do molde de sílica e colocou-se num congelador durante a noite, (cerca de 14 horas). Separou-se depois o molde de sílica do molde de borracha cozeu-se a cerca de 850^oC num forno de atmosfera com atmosfera de ar durante cerca de 1 hora e arrefeceu-se até à temperatura ambiente.

Cobriu-se o fundo do molde de sílica formado com um pedaço de folha de grafite (Perma - Foil da TT América, Portland, OR), com as dimensões de cerca de 127 mm (5") de

comprimento por cerca de (0,25 mm (0,010") de espessura. Abri-ram-se furos, de cerca de 19 mm (0,75") de diâmetro, na folha de grafite numa posição correspondente aos furos no fundo do molde de sílica. Encheram-se os furos no fundo do molde de sílica com cilindros de metal da matriz, medindo cerca de 19 mm (0,75") de diâmetro por cerca de 19 mm (0,75") de espessura, com uma composição idêntica à de metal da matriz, como adiante se descreve. Prepararam-se cerca de 826 gramas de uma mistura de material de enchimento, construído por cerca de 95 por cento em peso, de alumina de azo grit (38 Alundum da Norton, Co., Worcester, MA) e cerca de 5 por cento em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (vendido pela Aesar^R, Johnson Mathey, Searbrook, NH), num jarro de plástico de cerca de 4 litros e agitou-se manualmente durante cerca de 15 minutos. Vazou-se depois a mistura de material de enchimento no fundo do molde de sílica até uma profundidade de cerca de 19 mm (0,75") e deram-se umas pancadas ligeiras para nivelar a superfície da mistura de material de enchimento. Colocaram-se cerca de 1220 gramas de um metal da matriz, compreendendo, em peso, aproximadamente 0,25% de Si, 0,30% Fe, 0,25% de Cu, 0,15% Mn, 9,5 - 10,6% de Mg, 0,15% de Zn, 0,25% Ti e o restante de alumínio, no topo da mistura de material de enchimento dentro do molde de sílica. Colocaram-se depois o molde de sílica e o seu conteúdo num recipiente de aço inoxidável com as dimensões de cerca de 254 mm (10") de comprimento por cerca de 254 mm (10") de largura por cerca de 203 mm (18") de altura. Aspergiu-se um material de esponja de titânio, pesando cerca de 15 gramas (da Chemalloy Inc.,

Bryn Mawr, PA) em torno do molde de sílica no recipiente de aço inoxidável. Colocou-se uma chapa de folha do cobre sobre a abertura do recipiente de aço inoxidável, de modo a formar uma câmara isolada. Proporcionou-se um tubo de purificação de azo através da chapa de folha de cobre, e colocaram-se o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo num forno de caixa aquecido por resistência com atmosfera de ar.

Elevou-se progressivamente a temperatura do forno da temperatura ambiente até cerca de 600°C com uma velocidade de cerca de $400^{\circ}\text{C}/\text{hora}$, com um caudal de azoto de cerca de 10 litros/minuto (notar que a câmara isolada não é estanque aos gases e permite que algum azoto se escape desta), aqueceu-se em seguida de cerca de 600°C a cerca de 750°C , com uma velocidade de cerca de $400^{\circ}\text{C}/\text{hora}$, com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto. Depois de manter o sistema a cerca de 775°C durante aproximadamente 1,5 horas com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto, retiraram-se o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo do forno. Retirou-se o molde de sílica do recipiente de aço inoxidável, e decantou-se uma porção de metal da matriz do interior do molde de sílica. Colocou-se uma placa de cobre de refrigeração à temperatura ambiente com cerca de 127 mm (5") de comprimento por cerca de 127 mm (5") por cerca de 25 mm (1") de espessura, no interior do molde de sílica, de modo que ela contacta com a porção superior do metal da matriz residual, para solidificar direccionalmente o compósito com matriz de metal formado.

Amostra B

Formou-se uma caixa de aço colocando uma estrutura de aço, com as dimensões da cavidade interior de cerca de 127 mm (5") de comprimento por cerca de 127 mm (5") de largura por cerca de 70 mm (2,751) de profundidade e com uma espessura de parede de cerca de 7,9 mm (0,3") numa placa de aço que media cerca de 178 (7") de comprimento por cerca de 178 mm (7") de largura por cerca de 6,4 mm (0,25") de espessura. Forrou-se a caixa de aço com uma caixa de folha de grafite com cerca de 127 mm (5") de comprimento por cerca de 127 mm (5") de largura por cerca de 76 mm (3") de altura. A caixa de folha de grafite foi feita a partir de uma peça de folha de grafite (Perma - Foil de TT America, Portland, OR) com cerca de 279 mm (11") de comprimento por cerca de 279 mm (11") de largura por cerca de 0,25 mm (0,010") de espessura. Fizeram-se quatro cortes paralelos de cerca de 76 mm (3") a partir do lado e 76 mm (3") de comprimento na folha de grafite. Dobrou-se depois a folha de grafite cortada e agraçou-se para formar a caixa de folha de grafite.

Prepararam-se cerca de 782 gramas de uma mistura de material de enchimento compreendendo, em peso, cerca de 95 por cento em peso de alumina (C-75 RG de Alcan Chemicals, Montreal, Canadá) e cerca de 5 por cento de pó de magnésio de -325 mesh (vendido por AESAR^R, Johnson Matthey, Seabrook, NH), combinando os materiais num jarro de plástico e agitando manualmente durante cerca de 15 minutos. Vazou-se depois a mistura de material de enchimento na caixa de folha de grafite até uma profundidade de cerca de 19 mm

(0,75") e bateu-se ligeiramente na mistura para nivelar a superfície. Revestiu-se a superfície da mistura de material de enchimento com cerca de 4 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (vendido por Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Colocaram-se cerca de 1268 gramas de um material de metal da matriz compreendendo em peso, cerca de 0,25% de Si, 0,30% de Fe, 0,25% de Cu, 0,15% de Mn, 9,5-10,6% de Mg, 0,15% de Zn, 0,25% de Ti e o restante de alumínio na mistura de material de enchimento coberta com o pó de magnésio.

Colocaram-se a caixa de aço e o seu conteúdo num recipiente de aço inoxidável com cerca de 254 mm (10") de comprimento por cerca de 254 mm (10") de largura por cerca de 202 mm (8") de altura. O fundo do recipiente de aço inoxidável tinha sido preparado cobrindo o fundo da caixa com uma peça de folha de grafite com cerca de 254 mm (10") de comprimento por 254 mm (10") de largura por 0,25 mm (0,010") de espessura e colocou-se um tijolo sobre a folha de grafite para suportar a caixa de aço no interior do recipiente de aço inoxidável.

Aspergiram-se aproximadamente 20 gramas de material de esponja de titânio da Chemalloy Company, Inc. (Bryn Mawr, PA), na folha de grafite no fundo do recipiente de aço inoxidável em torno do tijolo refractário que suporta a caixa de aço. Colocou-se uma chapa de folha de cobre sobre a abertura do recipiente de aço inoxidável para formar uma câmara isolada. Proporcionou-se um tubo de purificação de azoto através da chapa de folha de cobre. Colocaram-se o re-

recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo num forno de caixa aquecido por resistência com a atmosfera de ar.

Aqueceu-se o forno da temperatura ambiente até cerca de 600°C com uma velocidade de cerca de 400°C/hora com um caudal de azoto através do tubo de cerca de 10 litros/ /minuto, aqueceu-se em seguida de cerca de 600°C a cerca de 800°C com uma velocidade de cerca de 400°C/hora com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto. Manteve-se o sistema a cerca de 800°C durante cerca de 2 horas com o caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto. Retiraram-se depois o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo do forno, e retirou-se a caixa de aço do recipiente de aço inoxidável e colocou-se numa placa de refrigeração de cobre arrefecida por água até à temperatura ambiente, com as dimensões de cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 203 mm (8") de largura por cerca de 13 mm (0,5") de espessura, para solidificar direccionalmente o compósito com matriz de metal.

Amostra C

Proporcionou-se uma barquinha de grafite com uma cavidade interna com cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de 203 mm (8") de largura por cerca de 13,3 mm (5,25") de altura, feita de grafite ATJ fabricada pela Union Carbide. Colocaram-se três caixas de folha de grafite, com cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 102 mm (4") de largura por cerca de 127 mm (5") de altura, no fundo da barquinha de grafite. A caixa de folha de grafite foi feita de uma peça de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide),

medindo cerca de 356 (14") de comprimento por cerca de 318 mm (12,5") de largura por cerca de 0,38 mm (0,015") de espessura. Fizeram-se quatro cortes paralelos, de cerca de (5") a partir do lado e cerca de 127 mm (5") de comprimento na folha de grafite. A folha de grafite cortada foi depois dobrada formando uma caixa de folha de grafite, colada com uma mistura compreendendo, em peso, cerca de 1 parte de pó de grafite (KS-44 da Lonza, Inc. Fair Lawn, NJ) e cerca de três partes de sílica coloidal (LUDOX^R SM da E.I. duPont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE) e agrafada para manter a caixa armada. Revestiu-se a parte inferior da caixa de folha de grafite uniformemente com uma camada de pó de magnésio de -50 mesh (vendido por Alpha Products, MortonThiokol, Danvers, MA). Fez-se aderir o pó de magnésio ao fundo da caixa de folha de grafite com uma mistura compreendendo, em volume, cerca de 25 a 50 por cento de cimento de grafite (RIGIDLOCKTM da Polycarbon, Valencia, CA) e o restante de álcool etílico.

Colocaram-se cerca de 1000 gramas de uma mistura de material de enchimento, compreendendo cerca de 98 por cento de alumina tubular de -60 grit (T-64 da Alcoa Industrial Chemicals Division, Baixite, AR) e cerca de 2 por cento de pó de magnésio de -325 mesh (vendido pela AESAR^R, Johnson Natthey, Seabrook, NH) num jarro de plástico e misturaram-se num moinho de bolas durante pelo menos 2 horas. Vazou-se depois a mistura de material de enchimento no fundo da caixa de folha de grafite que forra a barquinha de grafite. Compactou-se manualmente e revestiu-se com uma camada de 6 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Inc.

Norton Thiokol, Davers, MA). Colocaram-se cerca de 1239 gramas de um metal da matriz, compreendendo, em peso, 0,35% de Si, 0,40% de Fe, 1,6-2,6% de Cu, 0,20% de Mn, 2,6-3,4% de Mg, 0,18-0,35% de Cr, 6,8-8,0% de Zn, 0,20% de Ti e o resto alumínio, na mistura de material de enchimento na caixa de folha de grafite.

Colocaram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo num forno de retorta aquecido por resistência revestido, à temperatura ambiente. Fechou-se a porta de retorta e evacuou-se, até pelo menos 762 mm (30") de Hg. Depois de obtido o vácuo, introduziu-se azoto na câmara da retorta com um caudal de cerca de 2,5 litros/minuto. Aqueceu-se depois o forno de retorta revestido até cerca de 700°C com uma velocidade de cerca de 120°C/hora e manteve-se por cerca de 10 horas a cerca de 700°C com uma atmosfera de azoto com um caudal de cerca de 2,5 litros/minuto. Desceu-se depois progressivamente a temperatura do forno de retorta de cerca de 700°C para cerca de 675°C com uma taxa de cerca de 150°C/hora. A cerca de 675°C, retiraram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo da retorta e fez-se a solidificação direccional. Especificamente, colocou-se a barquinha de grafite numa placa de grafite à temperatura ambiente e vazaram-se aproximadamente 500 ml de um material de remoção da camada exterior pelo calor (Feedol^R -9, vendido pela Foseco Inc. Brook Park, OH) no topo do metal da matriz fundido contido dentro da caixa de folha de grafite, e envolveu-se com cerca de 51 mm (2") de espessura de uma cobertura de fibras de cerâmica (CERABLANKETTM, Manville Refractory Products) a barquinha

de grafite. À temperatura ambiente, desmontou-se a caixa de folha de grafite para mostrar que se tinha formado um corpo compósito de metal da matriz.

Amostra D

Proporcionou-se uma barquinha de grafite com uma cavidade interna medindo cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 102 mm (4") de largura por cerca de 63 mm (2,5") de profundidade, feita de grafite ATJ fabricada pela Union Carbide. Colocou-se uma caixa de folha de grafite com as dimensões de cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 38 mm (1,5") de largura por cerca de 76 mm (3") de altura, na barquinha de grafite. A caixa de folha de grafite foi feita de uma peça de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide), medindo cerca de 356 mm (14") de comprimento por cerca de 191 mm (7,5") de largura por cerca de 0,38 mm (0,015") de espessura. Fizeram-se quatro cortes paralelos de cerca de 76 mm (3") a partir do lado e com 76 mm (3") de comprimento na folha de grafite. Dobrou-se depois a folha de grafite para formar uma caixa de folha de grafite, colocou-se com um cimento de grafite (RIGIDLOCKTM da Polycarbon, Valencia (CA) e agramou-se. Uma vez suficientemente seca, colocou-se a caixa de folha de grafite na barquinha de grafite.

Colocaram-se cerca de 1000 gramas de uma mistura de material de enchimento, compreendendo, em peso, cerca de 96 por cento de plaquetas de alumina medindo cerca de 10 micrómetros de diâmetro e cerca de 2 micrómetros de espessura (Plaquetas F Al_2O_3 da Developmental Grade fornecida pela E.I.

DuPont de Nemours & Co., Inc. Wilmington, DE), e cerca de 4 por cento de pó de magnésio de -325 mesh (da AESAR^R, Johnson Matthey, Seabrook, NH), num jarro de plástico de cerca de 4 litros e encheu-se o volume restante do jarro de plástico com álcool etílico para formar uma mistura pastosa. Colocaram-se depois o jarro de plástico e o seu conteúdo num moinho de bolhas durante pelo menos 3 horas. Submeteu-se a mistura pastosa à filtração no vácuo para separar o álcool etílico da mistura de material de enchimento. Depois de remover substancialmente o álcool etílico, colocou-se a mistura de material de enchimento num conjunto de forno de ar a cerca de 110°C e secou-se durante a noite. Forçou depois a passagem da mistura de material de enchimento através de um crivo de (40) mesh para completar a sua preparação. De aqui em diante designar-se-à esta técnica de dispersão num líquido por "técnica de LD".

Revestiu-se a parte inferior da caixa de folha de grafite com uma camada de aproximadamente 1,5 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Inc. Morton Thiokol, Danvers, MA) e fez-se aderir ao fundo da caixa de folha de grafite com um cimento de grafite (RIGIDLOCKTM vendido pela Polycarbon, Valencia CA). Vazou-se depois a mistura de material de enchimento no fundo da caixa de folha de grafite, compactou-se manualmente e revestiu-se com uma camada de 1,5 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Inc., Morton Thiokol, Danvers, MA). Colocaram-se aproximadamente 644 gramas de um metal da matriz, compreendendo, por peso, cerca de 0,25% de Si, 0,30% de Fe, 0,25% de Cu,

0,15% de Mn, 9,5-10,6% de Mg, 0,15% de Zn, 0,25% de Ti e o restante de alumínio, na mistura de material de enchimento na caixa de folha de grafite. Colocaram-se duas placas de suporte de grafite com cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 76 mm (3") de largura por cerca de 13 mm (0,5") de espessura, ao longo dos lados exteriores da caixa de folha de grafite. Colocou-se um material de alumina de 220 grit, (38 Alundum da Norton Co., Worcester, NA) na barquinha de grafite em torno das placas de grafite.

Colocou-se o sistema, compreendendo a barquinha de grafite e o seu conteúdo, num forno de retorno aquecido por resistência à temperatura ambiente. Fechou-se a porta de retorta e evacuou-se a retorta até pelo menos 508 mm (20") de Hg. Aqueceu-se depois o forno de retorta com uma velocidade de cerca de 100°C/hora com um caudal de azoto de cerca de 4 litros/minuto. Após cerca de 10 horas a cerca de 775°C, com um caudal de azoto de cerca de 4 litros/minuto, retiraram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo do forno e fez-se a solidificação direccional. Especificamente, colocou-se a barquinha de grafite numa placa de arrefecimento de alumina com água à temperatura ambiente aproximadamente e vazaram-se 500 ml de um material de remoção pelo calor da camada superior (Freedol^R -9, vendido pela Foseco Inc. Brook Park, OH) no topo do metal da matriz fundido contido no interior da caixa de folha de grafite, e envolveu-se com uma cobertura de cerâmica de cerca de 51 mm (2") de espessura (CERABIANKETTM, Manville Refractory Products) a barquinha de grafite. À temperatura ambiente, desmontou-se a caixa de

folha de grafite para mostrar que se tinha formado um corpo compósito de metal da matriz.

O compósito de metal da matriz formado foi depois tratado pelo calor. Especificamente, colocou-se o compósito num cesto de arame de aço inoxidável que foi depois colocado num forno aquecido por resistência com atmosfera de ar. Baixou-se progressivamente a temperatura do forno para cerca de 435°C em cerca de 40 minutos, manteve-se durante cerca de 18 horas, retirou-se em seguida o compósito do forno e arrefeceu-se bruscamente num banho de água à temperatura ambiente.

Amostra E

Fabricou-se uma caixa de ácido inoxidável, com as dimensões de cerca de 152 mm (6") de comprimento por cerca de 76 mm (3") de largura por cerca de 127 mm (5") de altura, por soldadura de chapas de aço inoxidável série 300. Forrou-se a caixa de ácido inoxidável com uma caixa de folha de grafite com cerca de 152 mm (6") de comprimento por cerca de 76 mm (3") de largura por cerca de 127 mm (5") de altura. A caixa de folha de grafite foi feita de uma peça de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide), medindo cerca de 406 mm (16") de comprimento por cerca de 330 mm (13") de largura por cerca de 38 mm (0,015") de espessura. Fizeram-se quatro cortes paralelos de 127 mm (5") a partir do lado, e 127 mm (5") de comprimento na folha de grafite. Dobrou-se a folha de grafite e arrefeceu-se para formar a caixa de folha de grafite, e colocou-se em seguida no interior da caixa de

aço inoxidável.

Preparou-se uma mistura de material de enchimento misturando num jarro de plástico de quatro litros aproximadamente 600 gramas de uma mistura compreendendo cerca de 73 por cento, em peso, de carboneto de silício de 1000 grit (39 Crystolon da Norton Co., Worcester, MA), cerca de 24 por cento, em peso de filamentos emaranhados de carboneto de silício (da NIKKEI TECHNO-RESEARCH Co. LTD, Japão) e cerca de 3 por cento em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (da AESAR^R Johnson Matthey, Seabrook, NH), colocando-se o jarro num moinho de bolas durante aproximadamente uma hora.

Vazou-se uma camada de aproximadamente 19 mm (0,75") de mistura de material de enchimento no fundo da caixa de folha de grafite contida no interior da caixa de aço inoxidável. Colocaram-se lingotes de metal da matriz, compreendendo em peso, cerca de 10 por cento de silício, 5 por cento de cobre e o restante de alumínio, e com um peso total de 1216 gramas, no topo da mistura de material de enchimento contida no interior da caixa de folha de grafite. Colocaram-se depois a caixa de aço inoxidável e o seu conteúdo num recipiente exterior de aço inoxidável, medindo cerca de 254 mm (10") de comprimento por cerca de 203 mm (8") de largura por cerca de 203 mm (8") de profundidade. Aspergiram-se cerca de 15 gramas de um material de esponja (da Chemalloy Company, Inc. Bryn Mawr, PA), e cerca de 15 gramas de um pó de magnésio de -50 mesh (da Alpha Products, Norton Thio-kol, Danvers, NA), no interior do recipiente exterior de aço inoxidável em torno da caixa de aço inoxidável. Colocou-se

uma chapa de folha de cobre sobre a abertura do recipiente exterior de aço inoxidável. Proporcionou-se um tubo de purificação por azoto através da folha de cobre.

Colocou-se o sistema constituído pelo recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo num forno com atmosfera de ar aquecido por resistência. Aqueceu-se o forno desde a temperatura ambiente até cerca de 800°C com uma velocidade de cerca de 550°C/hora com um caudal de azoto no recipiente de aço inoxidável de cerca de 2,5 litros/minuto. Após cerca de 2,5 horas à temperatura de cerca de 800°C, com um caudal de azoto de cerca de 2,5 litros/minuto, retiraram-se o recipiente exterior de aço inoxidável e o seu conteúdo do forno. Retirou-se a caixa de aço inoxidável forrada com a folha de grafite do recipiente exterior de aço inoxidável e o seu conteúdo e colocou-se sobre uma placa de refrigeração medindo cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 203 mm (8") de largura por cerca de 12 mm (0,5") de altura, à temperatura ambiente para solidificar direccionalmente o compósito com matriz de metal. À temperatura ambiente, desmontou-se a caixa de folha de grafite para mostrar que se formou um compósito com matriz de metal.

Amostra F

Utilizou-se uma barquinha de alumina com as dimensões da cavidade interna de cerca de 95 mm (3,75") de comprimento por cerca de 45 mm (1,8") de largura por cerca de 20 mm (0,79") de profundidade. Colocou-se uma camada de aproximadamente 3,175 mm (1/8") de um material de enchimento

constituído por esferas ocas de alumina (Aeroesferas, vendidos pela Ceramic Fillers Inc., Atlanta, GA) no fundo da barquinha de alumina. Colocaram-se lingotes de metal da matriz constituído, em peso, por cerca de 0,25% de Si, 0,30% de Fe, 0,25% de Cu, 0,15% de Mn, 9,5-10,6% de Mg,

0,15% de Zn, 0,25% de Ti e o restante de alumínio, sobre a camada de material de enchimento na barquinha de alumina.

Colocaram-se a barquinha de alumina e o seu conteúdo num forno tubular aquecido por resistência à temperatura ambiente. O forno tubular foi substancialmente vedado, e evacuado até pelo menos 762 mm (50") de Hg. Introduziu-se depois azoto, com um caudal de cerca de 0,5 litros/minuto no tubo e aqueceu-se o forno tubular até cerca de 800°C com uma velocidade de cerca de 300°C/hora. Manteve-se o sistema a cerca de 800°C durante cerca de 0,5 hora com um caudal de azoto de cerca de 0,5 litro/minuto. Arrefeceu-se depois o forno tubular até à temperatura ambiente com uma velocidade de cerca de 300°C/minuto. À temperatura ambiente, retirou-se a barquinha de alumina do forno tubular para mostrar que formou um corpo compósito com matriz de metal.

Amostra G

Proporcionou-se uma barquinha de grafite medindo cerca de 102 mm (4") de comprimento por cerca de 120 mm (4") de largura por cerca de 76 mm (3") de altura, feita de grafite ATJ fabricada pela Union Carbide. Colocou-se um material de alumina de 24 grit (38 Alundum da Norton

Co., Worcester, MA), no fundo da barquinha de grafite. Colocou-se uma caixa de folha de grafite, medindo cerca de 51 mm (2") de comprimento por cerca de 51 mm (2") de largura por cerca de (76 mm (3")) de altura, da alumina de 24 grit que reveste o fundo da barquinha de grafite, e envolveu-se a caixa de grafite com alumina adicional de 24 grit. A caixa de folha de grafite foi feita de uma peça de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide), medindo cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 203 mm (8") de largura por cerca de 0,38 mm (0,015") de espessura. Fizeram-se quatro cortes paralelos de cerca de 51 mm (2") a partir do lado e cerca de 76 mm (3") de comprimento na folha de grafite. Dobrou-se depois a folha de grafite cortada, colou-se com uma mistura compreendendo, em peso, cerca de 1 parte em pó de grafite, (KS-44 da Lonza, Inc., Fair Lawn, NJ), e cerca de 3 partes de sílica coloidal (LUDOK^R SM da E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE) e agrafou-se para formar a caixa de folha de grafite.

Preparou-se um pré-molde de fibras de alumina medindo cerca de 51 mm (2") de comprimento por cerca de 51 mm (2") de largura por cerca de 20 mm (0,8") de espessura, a partir de uma mistura compreendendo, em peso, cerca de 90 por cento de fibras de alumina cortadas, com um diâmetro de cerca de 20 um (Fibra FP^R da E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc., Wilmington, DE), cerca de 10 por cento de fibras de alumina com um diâmetro de cerca de 3 um (designadas Saffil^R da ICI Americas, Wilmington, DE), o qual foi ligado com uma alumina coloidal. Colocou-se o pré-molde de fibra de

alumina, que compreende aproximadamente 12 por cento, em volume, de fibras cerâmicas, no fundo da caixa de folha de grafite na barquinha de grafite. Colocaram-se dois lingotes de metal da matriz, com as dimensões de cerca de 51 mm (2") de comprimento por cerca de 51 mm (2") de largura por cerca de 25 mm (1") de altura, compreendendo, em peso, cerca de 10,5% de Mg, 4% de Zn, 0,5% de Si, 0,5% de Cu e o resto de alumínio, no pré-molde de fibras de alumina na caixa de folha de grafite. Preencheu-se o espaço entre a periferia dos lingotes de metal da matriz e a parede lateral da caixa de folha de grafite com uma mistura pastosa de grafite compreendendo, em peso, cerca de 1 parte de pó de grafite (KS-44 vendida pela Lonza, Inc., Fair Lawn, NJ) e cerca de 3 partes de sílica de coloidal (LUDOX^R SM, vendida pela E.I. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, DE).

Colocaram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo num forno com atmosfera controlada à temperatura ambiente. Fechou-se a porta do forno e evacuou-se o forno até pelo menos 762 mm (30") de Hg. Aqueceu-se depois o forno até cerca de 1200°C durante cerca de 0,75 horas. Após pelo menos 2 horas a cerca de 200°C, com um vácuo de pelo menos 762 mm (30") de Hg, reencheu-se o forno com azoto com um caudal de cerca de 2 litros/minuto e aqueceu-se até cerca de 675°C durante cerca de 5 horas. Após cerca de 20 horas a cerca de 675°C, com um caudal de cerca de 2 litros/minuto, desligou-se o forno e arrefeceu-se até à temperatura ambiente. À temperatura ambiente, desmontou-se a caixa de folha de grafite para mostrar que se formou um corpo compósito com matriz

de metal.

Amostra H

Construiu-se um recipiente de aço inoxidável com cerca de 166 mm (6,5") de comprimento por cerca de 165 mm (6,5") de largura por cerca de 76 mm (3") de altura por soldadura de chapas de aço inoxidável série 300. Formou-se o recipiente de aço inoxidável com uma caixa de folha de grafite, medindo cerca de 152 mm (6") de comprimento por cerca de 152 mm (6") de largura por cerca de 76 mm (3") de altura. A caixa de folha de grafite foi feita de uma peça de folha de grafite (Grafoil da Union de Carbide), medindo cerca de 229 mm (9") de comprimento por cerca de 229 mm (9") de largura por cerca de 0,38 mm (0,015") de espessura. Fizeram-se quatro cortes paralelos de 76 mm (3") a partir do lado e 76 mm (3") de comprimento a partir do lado na folha de grafite. Dobrou-se depois a folha de grafite cortada, colocou-se com uma mistura compreendendo, em peso, cerca de 1 parte de pó de grafite (KS-44, vendida pela Lonza, Inc., Fair Lawn, NJ) e cerca de 3 partes de sílica coloidal (LUDOX^R SM vendida pela E.I. du Pont Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE), e agramou-se para formar uma caixa de folha de grafite. Após a cola estar substancialmente seca, colou-se a caixa de folha de grafite no fundo do recipiente de aço inoxidável. Vazou-se uma camada de aproximadamente 6,4 mm (0,25") de espessura de SiC(152) de 90 grit (39 Crystolon da Norton Co., Worcester, MA), no fundo da caixa de folha de grafite.

Colocou-se um pré-molde de fibras contínuas

medindo cerca de 152 mm (6") de comprimento por cerca de 152 mm (6") de largura por cerca de 13 mm (0,5") de espessura, feito de fibras de alumínio com um diâmetro de cerca de 20 um (Fibra FP^R vendida pelo E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc. de Wilmington, DE), no topo da camada de SiC (152) de 90 grit na caixa de folha de grafite que forra o recipiente de ácido inoxidável. Colocou-se uma chapa de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide) medindo aproximadamente 152 mm (6") por 152 mm (6") por 0,38 -- (0,015") com um furo com aproximadamente 51 mm (2") de diâmetro no centro da chapa de grafite no pré-molde de fibras contínuas. Colocaram-se lingotes de metal de matriz, cada um medindo cerca de 89 mm (3,5") de comprimento por cerca de 89 mm (3,5") de largura por cerca de (13 mm(0,5")) de espessura, e compreendendo, em peso, cerca de 0,25% de Si, 0,30% de Fe, 0,25% de Cu, 0,15% de Mn, 9,5-10,6% de Mg, 0,15% de Zn, 0,25% de Ti e o restante de alumínio, sobre a chapa.

Colocaram-se o aço inoxidável e o seu conteúdo num forno de retorta formado aquecido por resistência à temperatura ambiente. Fechou-se a porta da retorta e evacuou-se a retorta até pelo menos cerca de 762 mm (30") de Hg. Aqueceu-se depois o forno de retorta forrado até cerca de 200°C em cerca de 0,75 horas. Após cerca de 2 horas a cerca de 200°C com um vácuo de cerca de 762 mm (30") de Hg, re-encheu-se a retorta evacuada com azoto com um caudal de cerca de 2,5 litros/minuto. Aqueceu-se depois o forno de retorta até cerca de 725°C com uma velocidade de cerca de 150°C/hora com um caudal de azoto de cerca de 725°C durante cerca de

25 horas com um caudal de azoto de 2,5 litros/minuto. Retiraram-se depois o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo da retorta. Fez-se então a solidificação direccional colocando o recipiente de aço inoxidável sobre placas de grafite, e vazou-se alumina de 90 grit (38 Alundum vendida pela Norton Co., Worcester, MA), que tinha sido pré-aquecido a pelo menos 700°C, no metal da matriz fundido residual colocaram-se o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo com um manto de fibras cerâmicas (CERABLANKET^{TN}, Manville Refractory Products). À temperatura ambiente desmontou-se o conjunto para mostrar que se formou um compósito com matriz de metal reforçado com fibras, contínuas.

Amostra I

Utilizou-se uma barquinha de grafite, medindo cerca de 578 mm (22,75") de comprimento por cerca de 248 mm (9,75") de largura por cerca de 152 mm (6") de altura, feito de grafite ATJ vendida pela Union Carbide. Fez-se uma caixa de grafite, medindo cerca de 452 mm (19") de comprimento por cerca de 25 mm (1") de largura por cerca de 25 mm (1") de altura de uma peça de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide), como se descreveu na Amostra G.

Colocou-se a caixa de folha de grafite na barquinha de grafite e envolveu-se com alumina de 24 grit 38 (Alundum vendida pela Norton Co., Worcester, MA). Colocou-se uma camada de fibras soltas de grafite revestidas com carbono de silício CVD (Thornel T 300 Grade ST Carbon Pitch Fibers, Amoco Performance Products, Inc.) no fundo da caixa de folha de grafite. Utilizou-se a mesma mistura de pó de

grafite/silica coloidal usada para colar a caixa de folha de grafite para revestir as extremidades das fibras de grafite revestidas com carboneto de silicio CVD. Colocou-se um lingote de metal da matriz, medindo cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de (0,75") de largura por cerca de 25 mm (1") de espessura, e compreendendo, em peso, cerca de 6% de Mg, 5% de Zn, 12% de Si e o restante de alumínio, sobre as fibras soltas de grafite revestidas com carboneto de silicio na caixa de folha de grafite. Colocaram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo num forno com atmosfera controlada à temperatura ambiente. Fechou-se a porta do forno e evacuou-se a câmara até pelo menos 762 mm (30") de Hg, mantendo-se à temperatura ambiente. Aqueceu-se depois o forno até cerca de 200°C em cerca de 0,75 horas. Após cerca de 2 horas a cerca de 200°C com um vácuo de pelo menos 762 mm (30") de Hg, reencheu-se o forno com azoto com um caudal de cerca de 1,5 litros/minuto. Elevou-se depois a temperatura do forno até cerca de 850°C em cerca de 5 horas. Após cerca de 10 horas a cerca de 850°C, com uma atmosfera de azoto com o caudal de cerca de 1,5 litros/minutos, arrefeceu-se o forno até à temperatura ambiente em cerca de 3 horas. À temperatura ambiente, demonstrou-se a caixa de grafite para mostrar que se formou o compósito com matriz de metal.

QUADRO 1

Amostra	Metal da matriz	Material de enchimento	Processamento Tempo(Hrs.)	Temp.(°C)
A	520 ⁺	Al ₂ O ₃ ¹ fundida no 220	1,5	775
B	520,0 ⁺	Al ₂ O ₃ ⁺ calcinada	2,0	800
C	7001	Al ₂ O ₃ ³ tubular	10	700
D	520,0 ⁺	Plaquetas de Al ₂ O ₃ ⁴	10	775
E	Al-10Si-5Cu	Filamentos ⁵ de Sic. 100	2,5	775
F	520,0 ⁺	em partículas ^G Microesferas ⁷ de Al ₂ O ₃	0,5	800
G	Al-10,5Mg-4Zn -.5Si-.5Cu	Fibras cortadas 8&9 de Al ₂ O ₃	20	675
H	520,0 ⁺	Fibras contínuas ⁸ de Al ₂ O ₃	25	725
I	Al-12Si-6Mg-5Zn	Carbono revestido ¹⁰ com SiC	10	850

1 38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA.

2 C-75 RG, Alcan Chemicals, Montreal, Canada.

continuação do QUADRO 1

- 3 Alumina tubular T-64, Alcoa, Pittsburgh, PA.
 - 4 Plaquetas FOC Al_2O_3 Developmental Grade, E.I. duPont de Nemours & Co., Inc. Wilmington, DE.
 - 5 NIKKEI TECHNO-RESEARCH Co., LTD., Japão.
 - 6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA.
 - 7 Aerosphers, Ceramic Fillers Inc., Atlanta, GA.
 - 8 Fibras de alumina FP R E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.
 - 9 Fibras de alumina Saffil R, ICI Americas, Wilmington, DE.
 - 10 Thornel R /300 Grade 309 ST Carbon Pitch Fibers, Amoco Performance Products, Inc., Greenville, SC.
- + 0,25% Si, 0,30% Fe, 0,25% Cu, 0,15% Mn, 9,5-10,6% Mg, 0,15% Zn,
0,25% Ti e o restante de alumínio.
- 0,25% Si, 0,40% Fe, 1,6-2,6% Cu, 0,20% Mn, 2,6-3,4% Mg,
0,18-0,35% Cr, 6,8-8,0% Zn, 0,20% Ti e o restante de alumínio.

Exemplo 2

Este exemplo demonstra que pode utilizar-se com êxito uma certa variedade de composições de material de enchimento para formar corpos compósitos com matriz de metal pela técnica de infiltração espontânea. O Quadro II contém um resumo das condições experimentais empregadas para formar os corpos compósitos com matriz de metal, usando vários materiais de enchimento, temperaturas e tempos de processamento.

Amostras A-D

As amostras A-D, como se descreveu no Exemplo 5, foram formadas usando um material de enchimento de alumina fundida, um material de enchimento de alumina calcinada, um material de enchimento de alumina tubular e um material de enchimento de alumina plaquetas, respectivamente. Todas as amostras A-D estão contidas no Quadro II.

Colocou-se uma caixa de folha de grafite com cerca de 102 mm (4") de comprimento por cerca de 102 mm (4") de largura e cerca de 76 mm (3") de altura (feita de Grafoil^R, um produto da Union Carbide Corporation) numa barquinha de grafite. Colocaram-se aproximadamente 300 gramas de pó de óxido de magnésio (TECO MgO, Grau 120S, Minerals, Greenville, SC) no fundo da caixa de folha de grafite formando a barquinha de grafite. Cobriu-se espontaneamente a superfície do pó de óxido de magnésio com pó de magnésio de -50 mesh (da Alpha Products, Inc., Marton Thiokol, Danvers, MA). Colocou-se um lingote de metal da

matriz compreendendo, em peso, 0,25% de Si, 0,30% de Fe, 0,25% de Cu, 0,15% de Mn, 9,5-10,6% de Mg, 0,15% de Zn, 0,25% de Ti e o restante de alumínio, e medindo cerca de 114 mm (4,5") de comprimento por cerca de 38 mm (1,5") de largura por cerca de 38 mm (1,5") de altura, no interior do pó de óxido de magnésio e o pó de magnésio de -50 mesh na caixa de folha de grafite.

Colocaram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo num forno de retorta aquecido por resistência revestido. Fechou-se a porta da retorta e, à temperatura ambiente evacuou-se a retorta até pelo menos 762 mm (30") de Hg. Depois de obtido o vácuo, reenchou-se o forno com azoto com uma camada de cerca de 4 litros/minuto. Aqueceu-se depois o forno de retorta revestido até cerca de 750°C com uma velocidade de 200°C/hora com um caudal de azoto de cerca de 4 litros/minuto. Após cerca de 19 horas a cerca de 750°C com um caudal de azoto de cerca de 4 litros/minuto, arrefeceu-se o forno de retorta até cerca de 650°C com uma velocidade de 200°C/hora. A cerca de 650°C, abriu-se a porta da retorta e retiraram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo que foram colocados em contacto com uma placa de grafite para solidificar direccionalmente o compósito com matriz de metal e o metal da matriz residual. À temperatura ambiente, desmontou-se a caixa de folha de grafite para revelar um compósito com matriz de metal formado contendo um enchimento de óxido de magnésio.

Amostra K

Proporcionou-se um molde de aço com uma seção transversal trapezoidal com as dimensões da extremidade fechada de cerca de 76 mm (3") de comprimento e 76 mm (3") de largura, medindo a extremidade aberta cerca de 95 mm (3,75") de comprimento por cerca de 95 mm (3,75") de largura, e uma altura de cerca de 64 mm (2,5") de aço carbono de espessura 14 (1,9 mm). Revestiu-se a superfície interna do molde de aço com uma mistura de grafite compreendendo cerca de 1,5 partes, em volume, de etanol (da Pharmaco Products, Inc. de Byon, NJ) e cerca de 1 parte, em volume, de grafite coloidal DAG-154 (da Acheson Colloid, Port Huron, MI). Aplicaram-se pelo menos três camadas da mistura de grafite com uma escova de ar, na superfície interna do recipiente. Deixou-se secar cada uma das camadas da mistura de grafite antes de aplicar a seguinte. Colocou-se o molde de aço num conjunto de forno de atmosfera de ar e aqueceu-se por resistência até cerca de 330°C durante cerca de 2 horas, para secar e fazer aderir o revestimento de grafite coloidal ao molde de aço.

Cozeu-se cerca de 1 kg (2,2 litros) de um óxido de zircônio parcialmente estabilizado (HSY-3SD, Zirconia Sales, Inc., Atlanta, GA) num cadinho de alumina, com cerca de 159 mm (6,25") e um diâmetro do fundo de cerca de 95 mm (3,75") durante cerca de 1 hora até cerca de 1350°C. Fez-se uma mistura de material de enchimento misturando num jarro de plástico de 4 litros aproximadamente 600 gramas de uma mistura compreendendo cerca de 95 por cento, em peso,

de ZrO_2 pré-cozido e cerca de 5 por cento, em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (da Reede Manufacturing Company, Lake Hurst, NJ). Moeu-se a mistura num moinho de bolas durante aproximadamente 1 hora, e em seguida agitou-se manualmente durante um tempo adicional de 10 minutos.

Vazou-se uma camada de mistura de material de enchimento no fundo do molde revestido com grafite coloidal até uma profundidade de cerca de 19 mm (0,75"). Cobriu-se o material de enchimento com uma camada de pó de Mg de -50 mesh (da Alpha Products Morton Thiokol, Danvers, MA). Colocaram-se lingotes de metal da matriz, compreendendo cerca de 99,7 por cento, em peso, de alumínio, e o restante de elementos vestigiais com um peso total de cerca de 537 gramas no topo da mistura de material de enchimento e a camada de pó de magnésio no interior do molde de aço revestido com grafite coloidal. Adicionaram-se mais 16,9 gramas de um segundo metal da matriz, compreendendo cerca de 15 por cento, em peso, de silício e o restante de alumínio, no topo do metal da matriz original. Colocaram-se depois o molde e o seu conteúdo num recipiente externo de aço de carbono, medindo cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de 254 mm (10") de largura por cerca de 254 mm (10") de altura. Uma peça de folha de grafite designada por PF-25-H e vendida com a designação Perma-Foil da TT America, Portland, OR), medindo cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de 254 (10") de largura com uma espessura de cerca de 0,25 mm (0,010"), cobre o fundo da cavidade interna do recipiente externo de aço de carbono. Pulverizaram-se um material de

esponja de titânio, pesando cerca de 20 gramas (da Chemalloy Company, Inc., Bryn Mawr, PA) e pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Inc., Morton Thiokol, Danvers, MA) pesando cerca de 0,8 gramas, no recipiente interior do exterior de aço carbono em volta do molde de aço revestido com grafite coloidal e sobre a folha de grafite. Colocou-se uma folha de cobre sobre a abertura do recipiente exterior de aço carbono. Proporcionou-se um tubo de purificação com azoto na parede lateral do recipiente exterior de aço carbono. Colocaram-se o recipiente exterior de aço e o seu conteúdo num forno independente aquecido por resistência. Elevou-se a temperatura do forno gradualmente da temperatura ambiente até cerca de 600°C, com uma velocidade de cerca de 400°C/hora, com um caudal de azoto de cerca de 10 litros/minuto, depois de cerca de 600°C até cerca de 800°C com uma velocidade de cerca de 400°C/hora, com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto. Manteve-se o forno a cerca de 800°C durante cerca de 1 hora, com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto. Retiraram-se o recipiente exterior de aço carbono e o seu conteúdo do forno e retirou-se o molde de aço revestido com grafite coloidal do recipiente exterior de aço e pôs-se em contacto com uma placa de cobre arrefecida até à temperatura ambiente, medindo de cerca de 203 mm (8") de comprimento por 203 mm (8") de largura e 13 mm (0,5") de altura, para solidificar direccionalmente o composto com matriz de metal formado.

Amostra L

Preparou-se um molde com uma secção transversal trapezoidal de uma maneira idêntica à da Amostra, excepto que o molde foi cozido durante 2 horas para solidificar o revestimento de grafite coloidal.

Preparou-se aproximadamente (1 kg (2,2") de um Al_2O_3 enriquecido com ZrO_2 (ZTA-85, Zirconia Sales, Inc. Atlanta, GA) de uma maneira idêntica à do material de enchimento da Amostra K. Vazou-se uma camada de mistura de material de enchimento no fundo do molde de aço revestido com grafite de uma profundidade de cerca de 19 mm (0,75"). Cobriu-se o material de enchimento com uma camada de pó de magnésio de -50 mesh (da Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Colocaram-se lingotes do metal da matriz compreendendo cerca de 99,7 por cento, em peso, de alumínio e o restante de elementos vestigiais e pesando cerca de 368 gramas no topo da mistura de material de enchimento que foi coberta com o pó de magnésio. Colocou-se um segundo metal da matriz compreendendo, em peso, cerca de 15 por cento de silício e o restante de alumínio, e pesando cerca de 17,11 gramas sobre o primeiro metal da matriz. Colocaram-se o molde de aço revestido com grafite coloidal e o seu conteúdo num recipiente exterior de aço de carbono, com cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de 254 mm (10") de largura por cerca de 10" (254 mm) de altura. Um pedaço de um produto de fita de grafite (designada por FP-25-A e vendida com a designação de Perma-Foil, da TT America, Portland - OR), e medindo cerca de 305 mm (12") de compri-

mento por cerca de 254 mm (10") de largura com uma espessura de cerca de 0,25 mm (0,010"), cobre a parte inferior da cavidade interior do recipiente exterior de aço carbono. Pulverizou-se um material de esponja de titânio pesando cerca de 20 gramas (de Chemalloy Company, Inc., Bryn Mawr, PA), e um pó de magnésio de -50 mesh, pesando cerca de 2 gramas, em torno do molde revestido com grafite coloidal no produto de fita de grafite no interior do recipiente exterior do aço carbono. Proporcionou-se um tubo de purificação de azoto na parede lateral do recipiente exterior de aço carbono.

Colocaram-se o recipiente de aço coberto e o seu conteúdo no forno separado aquecido por resistência. Elevou-se a temperatura do forno gradualmente da temperatura ambiente até cerca de 600°C com uma velocidade de cerca de 400°C/hora, com um caudal de azoto de cerca de 10 litros minuto, em seguida de cerca de 600°C a cerca de 800°C com uma velocidade de cerca de 400°C/hora, com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto. Manteve-se o forno a cerca de 800°C durante cerca de 1 hora, com um caudal de azoto de cerca de 2 litros/minuto e arrefeceu-se, em seguida, até cerca de 580°C. Retiraram-se então o recipiente exterior de aço carbono e o seu conteúdo do forno, e retirou-se o molde de aço revestido com grafite coloidal do recipiente exterior de aço carbono para uma placa de cobre arrefecida à temperatura ambiente, medindo cerca de 203 mm (8") de comprimento por cerca de 203 mm (8") de largura por cerca de 13 mm (0,5") de altura, para solidificar direccionalmente o compósito com matriz de metal formado.

Amostra M

Preparou-se uma barquinha de grafite com as dimensões da cavidade interna de cerca de 30,5 x 30,5 x 14cm (12" x 9" x 5,5") (Graw ATJ da Union Carbide, fabricado por MGP, Inc., Womelsdorf, PA). Formou-se uma caixa de folha de grafite com aproximadamente 203 mm (8") por 102 mm (4") de largura por 76 mm (3") de profundidade (Grafoil^R da Union Carbide) como se descreveu para a Amostra C. Colocou-se aproximadamente 1 grama de pó de magnésio de -50 mesh (da Alpha Products, Inc., Morton Thyokol, Danvers, MA) na parte inferior da caixa. Proporcionou-se um revestimento leve aplicado por pulverização (não representando na figura 19) de cimento de grafite (RIGIDLOCK^R da Polycarbon, Valencia, CA) no fundo da caixa de folha de grafite para fazer o pó de magnésio ao fundo da caixa.

Preparou-se uma mistura de material de enchimento misturando aproximadamente 763 gramas de uma mistura compreendendo em peso, cerca de 98 por cento de carbono de silício de 1000 mesh (39Crystolon da Norton Co., Worcester, MA) e cerca de 2 por cento em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (Aesar^R, Johnson Mathey, Seabrook, NH) numa pasta de etanol (pela técnica LD discutida na Amostra D do exemplo 1). Colocou-se em seguida esta mistura de material de enchimento na caixa de grafite em cima do pó de magnésio.

Colocou-se uma camada de folha de grafite (Grafoil^R da Union Carbide) com as dimensões de aproximadamente 203 mm (8") por 102 mm (4") de largura por 0,38 mm

(0,015") de espessura, e com um furo com o diâmetro de aproximadamente 32 mm (1,25") no centro da folha de grafite, sobre a superfície do material de enchimento de carboneto de silício no interior da barquinha de grafite. Colocou-se aproximadamente 1 grama de pó de magnésio de -50 mesh (215) (de Alpha Products, Inc., Norton Thiokol, Danvers, MA) na superfície exposta do material de enchimento sobre o furo na folha de grafite.

Colocou-se um lingote de metal da matriz pesando aproximadamente 1237 gramas e constituído por uma liga 413,0 (apresentando uma composição nominal de aproximadamente 11,0-13,0% de Si, 2,0% de Fe, 1,0% de Cu, 0,35% de Mn, 1,0% de Mg, 0,50% de Ni, 0,50% de Zn,

0,15% de Sn e o restante de alumínio) sobre a superfície da folha de grafite, de modo que a liga cobrisse o furo na chapa de grafite.

Colocou-se o sistema de reacção constituído pela barquinha e o seu conteúdo num forno de retorta aquecido por resistência, revestido. Evacuou-se o forno até pelo menos 508 mm (20") de Hg, e em seguida reencheu-se com gás azoto com um caudal de aproximadamente 4,5 litros/minuto. Elevou-se gradualmente a temperatura do forno da temperatura ambiente até aproximadamente 775°C com uma velocidade de cerca de 200°C/hora. Manteve-se o sistema a aproximadamente 775°C durante aproximadamente 20 horas) e em seguida arrefeceu-se até cerca de 760°C com uma velocidade de cerca de 150°C/hora. A uma temperatura de cerca de aproximadamente 760°C, retirou-se o sistema do forno e colocou-

-se sobre uma placa de alumínio arrefecida com água. Pulverizou-se a parte superior do conjunto com aproximadamente 500 ml de um material exotérmico da remoção da camada superior pelo calor (Feedal^R -9, Foseco, Inc., de Brook Park, OH) e envolveu-se a barquinha de grafite com uma cobertura de fibras cerâmicas (CERABLANKET, Manville Refractory Products). O Feedal^R -9 foi utilizado para criar uma reação exotérmica na parte superior do conjunto para forçar o compósito da matriz de metal a solidificar direccionalmente enquanto arrefece, inibindo desse modo a formação de porosidade por contracção no interior do compósito com matriz de metal.

Amostra N

Colocaram-se duas placas de grafite de Grau ATJ com aproximadamente 203 mm (8") de comprimento por 76 mm (3") de largura por 0,3 mm (0,5") de espessura numa barquinha de grafite de aproximadamente 203 mm (8") por 102 mm (4") por 76 mm (3") de altura para formar uma cavidade no interior da barquinha de grafite com as dimensões de aproximadamente 203 mm (8") por (50,8 mm (2")) por 76 mm (3") de altura. Encheu-se a parte da barquinha de grafite fora das placas de grafite com alumina de 220 grit (38 Alundum da Norton Company). Colocou-se na cavidade, entre as placas de alumina, uma caixa de folha de grafite com aproximadamente 203 mm (8") por 50,8 mm (2") por 76 mm (3") (Grafoil^R da Union Carbide) que foi formada como se descreveu na Amostra C. Colocou-se na parte interior da caixa de folha

de grafite aproximadamente 1,5 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Inc., Morton Thiokol, Danvers, MA), que se fez aderir ao fundo da caixa de folha de grafite com um cimento de grafite (RIGIDLOC TM da Polycarbon, Ltd., Valencia, CA).

Preparou-se uma mistura de material de enchimento com plaquetas de carboneto de silício pela técnica LD, descrita na Amostra D do Exemplo 1, misturando aproximadamente 303 gramas de uma mistura de cerca de 96 por cento, em peso, de plaquetas de carboneto de silício, com um diâmetro de cerca de 50 micrómetros e uma espessura de cerca de 10 micrómetros, (C-Axes Technology, Ltd., Jonquiere Quebec, Canada) e cerca de 4 por cento, em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (Aesar ^R, Juhnson Mathey, Seabrook NH). Colocou-se a mistura de material de enchimento sobre a camada de magnésio na barquinha de grafite. Colocou-se uma segunda camada de aproximadamente 1,5 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) no topo da mistura de material de enchimento de carboneto de silício. Colocou-se um lingote pesando aproximadamente 664 gramas e constituído por uma liga 413,0, com uma composição como a já mencionada na parte inferior do Quadro II, no topo da camada de magnésio no sistema.

Colocou-se o sistema constituído pela barquinha de grafite e o seu conteúdo, num forno de retorta tubular aquecido por resistência, revestido. Evacuou-se o forno até pelo menos 508 mm (20") de Hg, reenchou-se em seguida com gás azoto com um caudal de aproximadamente 4,0 litros/minuto. Elevou-se gradualmente a temperatura do forno

da temperatura ambiente até aproximadamente 775°C com uma velocidade de cerca de 100°C/hora. Manteve-se o sistema aproximadamente a 775°C durante cerca de 10 horas, e arrefeceu-se em seguida até cerca de 200°C/hora. Retirou-se o sistema do forno a aproximadamente 760°C e colocou-se sobre uma placa de alumínio arrefecida em água. Pulverizou-se aproximadamente 500 ml de um material de remoção a quente da superfície exterior exotérmica (Feedal^R -9 de Foseco, Inc., de Brook Park, OH) no conjunto e colocou-se uma cobertura de fibras de cerâmica em torno da superfície da barquinha de grafite. O Feedal^R -9 foi utilizado para criar uma reacção exotérmica na parte superior do conjunto para forçar o composto com matriz de metal para solidificar direccionalmente enquanto arrefece, inibindo desse modo a formação de porosidade por contracção no interior do composto com matriz de metal.

Amostra O

Proporcionou-se uma barquinha de grafite, com as dimensões da cavidade interna de cerca de 30,5 x 22,9 x 14 cm (12" x 9" x 5,5") (Grau ATJ da Union Carbide, fabricado pela MGP, Inc., Womelsdorf, PA). Formou-se uma folha de grafite com aproximadamente 203 mm (8") por 102 mm (4") de largura por 76 mm (3") de profundidade (Grafoil^R da Union Carbide), como se descreveu na Amostra C. Colocou-se aproximadamente 1 grama de pó de magnésio de -50 mesh (da Alpha Product, Inc., Morton Thiokol, Danvers, MA) no fundo da caixa de folha de grafite. Proporcionou-se um

revestimento leve aplicado por pulverização de cimento de grafite (RIGIDLOCK^R da Polycarbon, Valencia, CA) no fundo da caixa de folha de grafite para fazer aderir o pó de magnésio ao fundo da caixa.

Preparou-se um material de enchimento misturando aproximadamente 94 por cento em peso, de plaquetas de diboreto de titânio, com um diâmetro de 10 micrómetros e uma espessura de cerca de 2,5 micrómetros (HTC-30 da Union Carbide) e aproximadamente 6 por cento, em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (Aesar^R da John Mathey, Seabrook, NH) pela técnica LD, como se descreveu na Amostra D do Exemplo 1. Vazou-se depois esta mistura de material de enchimento no topo do pó de magnésio na caixa de folha de grafite.

Colocou-se uma folha de grafite de aproximadamente 203 mm (8") por 102 mm (4") por 0,38 mm (0,015") de espessura (Grafoil^R da Union Carbide) com um furo de aproximadamente 32 mm (1,25") de diâmetro no centro da folha, no topo do material de enchimento. Colocou-se aproximadamente 1 grama de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) na superfície exposta do material de enchimento através do furo na folha de grafite. Colocou-se um lingote de metal da matriz de aproximadamente 1498 gramas de liga 520 (compreendendo, em peso, cerca de 0,25% de Si, 0,35% de Fe, 0,25% de Cu, 0,15% de Mn, 9,5-10,6% de Mg, 0,15% de Zn, 0,25% de Ti, e o restante de alumínio) no topo da folha de grafite.

Colocaram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo num forno de retorta aquecido por resistência, revestido, à temperatura ambiente. Fechou-se a porta de retorno e evacuou-se a retorta até pelo menos 508 mm (20") de Hg. Reencheu-se depois a retorta com azoto com um caudal de cerca de 4,5 litros/minutos. Aqueceu-se depois gradualmente o forno de retorta revestido da temperatura ambiente até cerca de 775°C com uma velocidade de cerca de 200°C/hora. Após cerca de 20 horas a cerca de 775°C, arrefeceu-se o forno de retorta revestido até cerca de 760°C com uma velocidade de cerca de 150°C/hora. A cerca de 760°C, abriu-se a porta da retorta e retiraram-se a barquinha de grafite e o seu conteúdo da retorta para sobre uma placa de alumínio arrefecida com água à temperatura ambiente, com as dimensões de cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de 229 mm (9") de largura por cerca de 51 mm (2") de espessura. Pulverizaram-se aproximadamente 500 ml de um material para remoção pelo calor da camada superior exotérmico (Feedal^R -9 da Foseco, Inc., de Brook Park, OH) no topo do conjunto, e envolveu-se a barquinha de grafite com uma cobertura de fibras cerâmicas (CERABLANKET, Manville Refractory Products). O material para remoção pelo calor da camada superior foi utilizado para criar uma reacção exotérmica no topo do metal da matriz residual para auxiliar a forçar o compósito com matriz de metal a solidificar direccionalmente enquanto arrefece, inibindo desse modo, a formação de porosidade por contracção no interior do composto com matriz de metal.

Amostra P

Forrou-se um recipiente de aço inoxidável com as dimensões de aproximadamente (152 mm (6") de comprimento, por 152 mm (6") de largura por 191 mm (7,5") de profundidade, com uma caixa de folha de grafite com as dimensões de aproximadamente 152 mm (6") por 191 mm (7,5"), preparada de acordo com os exemplos atrás descritos. Fizeram-se aderir aproximadamente 2 gramas de pó de magnésio de -325 mesh (Aesar^R da Johnson Mathey, Seabrook, NH) ao fundo da caixa de grafite com cimento de grafite (RIGIDLOKTM da Polycarbon, Valencia, CA). Fez-se uma mistura de aproximadamente 500 gramas com cerca de 95 por cento em peso, de nitreto de alumínio, com dimensões médias das partículas de cerca de 3-6 micrómetros de diâmetro (A-200 AIN da Advanced Refractory Technology, Inc., Buffalo, NY) e cerca de 5 por cento, em peso, de pó de magnésio de -325 mesh (Aesar^R da Johnson Mathey, Seabrook, NH), por meios mecânicos num jarro de plástico de quatro litros misturando durante pelo menos 2 horas, para obter uma mistura uniforme de material de enchimento. Colocou-se esta mistura de material de enchimento no interior da caixa de folha de grafite. Colocou-se um tubo de grafite de aproximadamente 25 mm (1") de comprimento com um diâmetro interno de cerca de 51mm (2") no topo do material de enchimento. Vazou-se um leito solto de alumina de 220 grit E-38 Alundum da Norton Co.) em torno do diâmetro exterior da entrada do tubo de grafite que tinha sido centrado no topo do material de enchimento no interior da caixa de grafite. Adicionou-se alumina de

220 grit suficiente para envolver substancialmente o tubo de grafite. Colocaram-se aproximadamente 5 gramas de pó de magnésio de -50 mesh (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) na porção interna do tubo de grafite para cobrir a interface do material de enchimento. Colocaram-se aproximadamente 1210 gramas de uma liga de metal da matriz com uma composição nominal 413,0, compreendendo, em peso, cerca de 11,0-13,0% de Si, 2,0% de Fe, 1,0% de Cu, 0,35% de Mn, 0,10% de Mg, 0,50% de Ni, 0,50% de Zn, 0,15% de Sn e o restante de alumínio no topo dos componentes de reacção, como se mostra na fig. 20.

Colocou-se o sistema constituído pelo recipiente de aço e o seu conteúdo num forno de retorta aquecido por resistência revestido, e evacuou-se o forno até pelo menos 508 mm (-20") de Hg e reencheu-se com gás azoto com um caudal de aproximadamente 4 litros/minuto. Elevou-se gradualmente a temperatura do forno da temperatura ambiente até cerca de 200°C com uma taxa de aproximadamente 200°C/hora, manteve-se a cerca de 200°C durante aproximadamente 49 horas, em seguida arrefeceu-se até cerca de 550°C com uma velocidade de cerca de 200°C/hora, manteve-se a aproximadamente 550°C durante cerca de 1 hora, elevou-se em seguida gradualmente até cerca de 775°C com uma velocidade de aproximadamente 150°C/hora. Manteve-se o sistema a aproximadamente 775°C durante cerca de 10 horas, baixou-se em seguida para cerca de 760°C com uma velocidade de aproximadamente 150°C. Aproximadamente a 760°C, retirou-se o sistema do forno e arrefeceu-se directamente com remoção a quente

da camada superior. Especificamente, colocou-se o sistema numa placa de alumínio arrefecido com água, com as dimensões de cerca de 305 mm (12") de comprimento por cerca de 229 mm (9") de largura por cerca de 51 mm (2") de espessura. Pulverizaram-se aproximadamente 500 ml de um material para remoção a quente da camada superior exotérmica (Feedel^R -9 da Foseco, Inc., de Brook, OH) no topo do conjunto. Colocou-se uma cobertura de fibras de cerâmica (CERABLANKET, Manville Refractory Products) envolvendo o recipiente de ácido inoxidável para isolar o sistema. O material de remoção pelo calor da camada superior foi utilizado para criar uma reacção exotérmica no topo do metal da matriz residual para auxiliar o compósito com matriz de metal a solidificar direccionalmente enquanto arrefece, inibindo desse modo a formação de porosidade por contracção no interior do compósito de matriz de metal.

As propriedades mecânicas de alguns dos corpos compósitos com matriz de metal formados de acordo com este Exemplo estão indicados no Quadro II. Dá-se a seguir uma descrição dos processos usados para determinar as propriedades mecânicas.

MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA A ROTURA POR TRACÇÃO (U.T.S.)

A resistência à tracção de alguns compósitos com matriz de metal foi determinada usando a norma ASTM Nº. B557-84 "Standard Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Products". Utilizaram-se espécimes para ensaios de tracção rectangulares com as di-

mensões de 154 mm (6") de comprimento por 13 mm (0,5") de largura e 2,5 mm (0,1") de espessura. A secção do calibre dos espécimes de ensaio de tracção rectangulares era de cerca de 10 mm (3/3") de largura por cerca de 19 mm (0,75") de comprimento e os raios desde a secção terminal até à secção de medição eram de cerca de 76 mm (3"). Fizeram-se quatro apêndices de prisão de alumínio de cerca de 51 mm (2") de comprimento por cerca de 13 mm (0,5") de largura a cerca de 7,6 mm (0,3") de espessura nas secções terminais de cada espécime de ensaio de tracção rectangular com uma resiepóxidica (designada por Epoxi-patchTM, Dexter Corporation of High Sol Aerospace and Industrial Products, Seabrook NH). Mediu-se a tensão dos espécimes de ensaio de tracção rectangulares com extensómetros (pontes de 350 ohm), designados por CEA-06-375W - 350 da MicroMeasurements of Raleigh, NC. Colocaram-se os espécimes de ensaio de tracção rectangulares, incluindo os apêndices de prisão de alumínio e os extensómetros em garras em cunha numa célula de carga Syntec de 2269 kg (5000/libras) (Máquina de Ensaio Universal, Modelo No. CITS 2000/6 fabricada pela System Integration Technology Inc., de Stration, MA). Ligou-se um sistema de aquisição de dados de computador à unidade de medição e os extensómetros registaram as respostas aos ensaios. Os espécimes de ensaio de tracção rectangulares foram deformados com uma velocidade constante de 1 mm (0,039") por minuto até à rutura. A tensão máxima, o alongamento máximo e o alongamento na rutura foram calculados a partir da geometria da amostra e das respostas registadas com progra-

mas contidos no computador.

Medição do módulo de elasticidade pelo método
de ressonância

O módulo de elasticidade dos compósitos com matriz de metal foi determinado por uma técnica de ressonância acústica que é substancialmente a mesma do método da mesma ASTM C848-88. Especificamente, colocou-se uma amostra do compósito com cerca de 45 a 55 mm (1,8" a 2,2") de comprimento, cerca de 6 mm (0,24") e cerca de 4,8 mm (1,9") de espessura entre dois transdutores isolados das vibrações ambientes por uma mesa de ar que suporta uma pedra de granito. Utilizou-se um dos transdutores para excitar frequências no interior da amostra do compósito, enquanto que o outro foi usado para seguir a resposta de frequência do compósito com matriz de metal. Fazendo a exploração das frequências seguindo e registrando os níveis de resposta para cada frequência, e anotando a frequência de ressonância, determinou-se o módulo de elasticidade.

Medição da resistência à fractura do material da matriz de metal utilizado usando um espécime com um entalhe em V

Utilizou-se o método de Munz, Shannon e Bubsey para determinar a resistência à fractura de materiais com matriz de metal. A resistência à fractura foi calculada a partir da carga máxima da espécime com entalhe em V, com a carga aplicada em quatro pontos. Especificamente, a geometria do espécime com entalhe em V era de cerca de

45 a 55 mm (1,8" a 2,2") de comprimento, cerca de 4,8 mm (0,19") de largura e cerca de 6 mm (0,24") de altura. O entalhe em V foi cortado com uma serra de diamante para propagar uma fissura através da amostra. Colocaram-se as amostras com o entalhe com o vértice do V voltado para baixo num acessório no interior de uma máquina de ensaio Universal. Colocou-se o entalhe da amostra com o entalhe em V entre dois pernos afastados, de 40 mm (1,6") e aproximadamente a 20 mm (0,79") de cada perno. Colocou-se a face superior da amostra com o entalhe em V em contacto com dois pernos afastados de 20 mm (0,79") e aproximadamente a 10 mm (0,39") do entalhe. As medições da carga máxima foram feitas com uma máquina de ensaio universal modelo Sintec CITS-2000/6 fabricada pela System Integration Technology Incorporated of Straton, MA. Utilizou-se uma velocidade da cruzeta de 0,58mm (0,02")/minuto. Ligou-se através de uma interface a célula de carga da máquina de ensaio universal a um sistema de aquisição de dados para o computador. Utilizaram-se a geometria da amostra com entalhe em V e a carga máxima para calcular a resistência à fractura do material. Utilizaram-se várias amostras para determinar uma resistência à fractura média para um dado material.

Análise quantitativa da imagem (QIA)

A fracção, em volume, de material de enchimento, a fracção em volume, de metal da matriz e a fracção, em volume, de porosidade foram determinadas por análise quantitativa de imagem. Montou-se e poliu-se uma amostra representativa de um material compósito. Colocou-se uma amostra

polida na platina de um microscópio óptico Microfoto-FX com uma câmara de vídeo DAGE-MTI Série 68 fabricado na Michigan City IN, fixada na abertura superior. O sinal da câmara de Vídeo foi enviado para um Scientific Optical Analysis Sistem Modelo DV-4400 produzido pela Lamont Scientific of State College, PA. Obtiveram-se, com uma mpliação apropriada, dez imagens de vídeo da micro-estrutura através do microscópio óptico, que foram arquivadas no Scientific Optical Analysis Systems Lamont. As imagens de vídeo obtidas com amplificação de 50 x a 100 x, e em alguns casos, 200 c, foram manipuladas digitalmente para regularizar a iluminação. As imagens de vídeo obtidas com ampliações de 200 x a 1000 x não necessitam de qualquer manipulação digital para regularizar a iluminação. Atribuíram-se as imagens de vídeo com iluminação regularizada com uma cor específica e somas de intensidade de nível de cinzento a características micro-estruturais específicas, a material de enchimento específico, a metal da matriz ou porosidade, etc. Para verificar-se que as atribuições de cor e intensidade eram correctos, fez-se uma comparação entre a imagem de vídeo com as atribuições e a imagem de vídeo originalmente obtida. Quando se encontraram discrepâncias fizeram-se correcções das atribuições das imagens de vídeo com uma pena de digitalização segura na mão e um painel de digitação. Analisaram-se automaticamente com os programas do computador contido no Scientific Optical Analysis Systems Lamont imagens de vídeo representativas com atribuições para obter as percentagens das áreas de material de enchimento, de metal da matriz e de porosidade, que são substancialmente as mesmas que as percentagens em volume.

Exemplo 3

Este Exemplo demonstra que podem usar-se misturas de material de enchimento diferentes de carboneto de silício para formar com êxito corpos compósitos com matriz de metal pela técnica de infiltração espontânea. Podem além disso obter-se cargas variáveis de material de enchimento conforme as dimensões do material de enchimento e/ou as condições de processamento empregadas. O Quadro III contém resumos das condições experimentais empregadas para formar os corpos compósitos deste Exemplo, incluindo os vários metais da matriz, os materiais de enchimento, as temperaturas e os tempos de processamento.

Amostra Q - AH

Estas amostras foram formadas de uma maneira substancialmente análoga à da Amostra C no Exemplo 1, excepto que não se colocou nenhum pó de magnésio no fundo da caixa de folha de grafite antes de adicionar o material de enchimento.

Exemplo Al-AJ

Estas amostras foram formadas de maneira substancialmente análoga à Amostra K no Exemplo 1.

As propriedades mecânicas das amostras foram medidas por procedimentos de ensaio normalizados, como atrás se descreveu, estando as propriedades mecânicas das amostras indicadas no Quadro III.

QUADRO II

Metal Amostra	Material de enchimento	Processamento Tempo (Hrs.)	Tempo (°C)	Tensão à rotura por tracção		Limite do alongamen to propor cional		Propriedades Mecânicas		Resistên cia à ro tura por enchi- mento (MPa m ²) (%)	Volume de mate rial de
				(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	Alongamento na rotura (%)	Módulo de elastici- dade (GPa)		
A	520,0 ⁺	Al ₂ O ₃ fundida 500 [#]	1,5	775	--	--	--	--	--	--	41
B	520,0 ⁺	Al ₂ O ₃ calcina- da	2,0	800	--	--	--	--	--	--	36
C	7001 [#]	Al ₂ O ₃ tubu- lar ³	10	700	256(5)	--	--	.164	176	13,04	57
D	520,0 ⁺	Plaquetas de Al ₂ O ₃ ⁴	10	775	453+28(6)	181+12(6)	.641	.641	128	20,30	47
J	520,0 ⁺	MgO ¹¹	19	750	--	--	--	--	--	--	--
K	170,1 ⁺⁺	ZrO ₂ ¹²	1	800	--	--	--	--	--	--	--

& Al-15Si

1 38 Alundum, Norton Co., Worchester, MA.

2 C-75 RG, Alcan, Montreal, Canada.

3 Alumina tabular T-64, Alcoa, Pittsburgh, PA.

4 Plaquetas de al₂O₃ de Grau de desenvolvimento F, E.I. DuPont de Nemours & Co., Inc. Wilmington, DE.

11 TECO MgO, Grade 1205, C-E Minerals, Greenville, TN.

12 HSY-3SD, Zirconia Sales Inc., Atlanta, GA.

+ ≤ 0,25 % Si, ≤ 0,30 % Fe, ≤ 0,25 % Cu, ≤ 0,15 % Mn, 9,5-10,6 % Mg, ≤ 0,15 % Zn, ≤ 0,25 % Ti e o restante de alumínio. # 0,35 % Si, ≤ 0,40 % Fe, 1,6-2,6 % Cu, ≤ 0,20 % Mn, ≤ 2,6-3,4 % Mg, ≤ 0,18-0,35 % Cr, 6,8-8,0 % Zn, ≤ 0,20 % Ti e o restante de alumínio. § 11,0-13,0 % Si, ≤ 2,0 % Fe, ≤ 1,0 % Cu, ≤ 0,35 % Mn, ≤ 0,10 % Mg, ≤ 0,50 % Ni, ≤ 0,50 % Zn, ≤ 0,15 % Sn e o restante de alumínio.

++ 99,7 % Al e o restante de elementos vestigiais.

QUADRO II (continuação)

Metal da matriz	Material de enchimento	Proces- samento Tempo (Hrs.)	Tempo (°C)	Tensão à			Propriedades Mecânicas		Volume Resistên- cia à ro- tura por enchi- mento (MPa m ^{1/2}) (%)
				rotura por tracção (MPa)	Limite do alongamen- to propor- cional (MPa)	Alongamento na rotura (%)	Módulo de elastici- dade (GPa)	Resistên- cia à ro- tura por enchi- mento (MPa m ^{1/2}) (%)	
L 520,0 ⁺	Al ₂ O ₃ ZrO ₂ ¹³ & Al-15SL endurecido	1	800	--	--	--	--	--	--
N Al-12S1	Partícula de ¹⁵ SiC	20	775	265±40(6)	62±9(6)	.392	136	12,7±.5(7)	
N Al-12S1	Plaquetas de ¹⁵ SiC	10	775	156±22(6)	82±18(6)	.116	146		46
O 520,0 ⁺	Plaquetas de ¹⁶ TiB ₂	20	775	461±36(10)	143±9(10)	.754	135	19,1±.9(9)	48
P 413,0 [§]	AlN ¹⁷	10	775	--	--	--	--	--	--

13 ZTA-85¹¹ Zirconia Sales Inc., Atlanta, GA.

14 -1000¹¹ 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA.

15 C-Axis Technology Ltd. Jonquiere, Quebec, Canada. 16 HTC-30, Union Carbide.

17 A-200, Advanced Refractory Technologies, Inc. Buffalo, NY.

+ ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5-10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti e o restante de alumínio.

§ 11,0-13,0% Si, ≤2,0% Fe, ≤1,0% Cu, ≤0,35% Mn, ≤0,10% Mg, ≤0,50% Ni, ≤0,50% Zn, ≤0,15% Sn e o restante de alumínio.

QUADRO III

Amostras	Metal da matriz	Material de enchimento	Processamento		Tensão na rotura por tracção (MPa)	Alongamento na rotura (%)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de dilatação térmica por °C (x10 ⁻⁶)	Resistência à rotura por tracção (MPa m ^{1/2})	Dens. (g/cm ³)	Volume de enchimento (%)
			Tempo (Hrs)	Temp. (°C)							
Q	Al-12Si-6aMg	220# SiC ⁶	15	750	145(6) ^d	.133	164	12,2	10,37(5)	2,87	51
R	Al-12Si-2Mg	(75% 220# 25% 800#) SiC	15	750	182(6)	.161	165	11,4	9,26(5)	2,84	56
S	Al-12Si-2Mg	(85% 220# 15% 800#) SiC	15	750	160(5)	.133	183	11,4	11,03(6)	2,89	65
T	336,0*	220# SiC ⁶	15	750	155(4)	.110	198	10,6	8,30(13)	2,91	55
U	336,0*	(75% 220# 25% 800#) SiC	15	750	143(5)	.094	185	9,5	8,67(9)	2,92	64

6 39 Crystolon, Norton Co., Worchester, MA.

c Média de coeficiente de dilatação térmica de 20-500°C, medindo com dilatómetro Modelo DI-24, Adamel Lhomargy, França.

d Números entre parêntesis () indicam o número de espécimes ensaiados.

* 10,0-13,0% Si, ≤ 1,2% Fe, ≤ 0,5-1,5% Cu, ≤ 0,35% Mn, ≤ 0,7-1,3% Mg, 2,0-3,0% Ni, ≤ 0,35-Zn, ≤ 0,25% Ti e o restante de alumínio.

QUADRO III (Continuação)

Amos- tra	Metal matriz	da Material de enchimento	Processamento		Tensão na rotu- ra por tracção (MPa)	Alonga- mento na rotação (%)	Módulo de elasti- cidade (GPa)	Coefici- ente de dilatata- ção tér- mica, °C por tracção (x10 ⁻⁶)	Resistên- cia à rotação por tracção (MPa m ^{1/2})	Dens. (g/cm ³)	Volume de enchi- mento (%)
			Tempo (Hrs)	Temp. (°C)							
V	336,0*	(85% 220#, 15% 800#, SiC)	15	750	176(5)	.135	195	10,4	8,42(8)	2,91	59
W	390,2†	220# SiC ⁶	15	750	86(6)	.055	190	10,0	8,00(6)	2,95	52
X	390,2†	(75% 220#, 25% 800#, SiC)	15	750	138(6)	.078	219	9,7	9,23(6)	2,93	64
Y	390,2†	(85% 220#, 15% 800#, SiC)	15	750	169(5)	.098	197	9,8	8,62(6)	2,91	55
Z	413,0§	220# SiC ⁶	15	750	182(5)	.184	174	11,3	10,17(5)	2,89	--

† 16,0-18,0% Si, 0,6-1,0% Fe, 4,0-5,0% Cu, ≤ 0,10% Mn, ≤ 0,5-0,65% Mg, ≤ 0,10% Zn, ≤ 0,20% Ti
e o restante de alumínio.

§ 11,0-13,0% Si, ≤ 2,0% Fe, ≤ 1,0% Cu, ≤ 0,35% Mn, ≤ 0,10% Mg, ≤ 0,50% Ni, ≤ 0,50% Zn, ≤ 0,15% Sn
e o restante de alumínio.

QUADRO III (continuação)

Amostras	Metal da Matriz	Material de enchimento	Processamento		Tensão na ruptura por tração (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de dilatação térmica, α_c por $^{\circ}\text{C}$ ($\times 10^{-6}$)	Resistência à ruptura por tração σ_b (MPa $\text{m}^{1/2}$)	Densidade (g/cm ³)	Volume de enchimento (%)
			Tempo (Hrs)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)							
AA	413,0 δ	(85% 220#, 15% 800#) SiC	15	750	178(5)	.149	175	11,2	9,99(9)	2,90	---
AB	413,0 δ	(75% 220#, 25% 800#) SiC	15	750	230(5)	.228	209	10,8	10,41(5)	2,89	---
AC	Al-12Si-5Zn	220# SiC ⁶	15	750	203(5)	.165	160	13,4	9,63(5)	2,96	54
AD	Al-12Si-5Cu	(85% 220#, 15% 800#) SiC	15	750	201(6)	.135	177	11,9	10,51(5)	2,95	57
AE	Al-12Si-5Cu	(75% 220#, 25% 800#) SiC	15	750	232(6)	.163	176	11,7	10,38(6)	3,02	57

6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA.

18 55% 54 # SiC, 20% 90 # SiC, 15% 180# SiC₂ e 10% 500 # SiC, 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, Ma.

c Média de coeficiente de dilatação térmica de 20-500 $^{\circ}\text{C}$ medido com dilatômetro Modelo DI-24,

Adamel Lhomargy, França.

d Os números entre parênteses () indicam número de espécimes ensaiados.

§ 11,0-13,0% Si, 2,0% Fe, 1,0% Cu, 0,35% Mn, 0,10% Mg, 0,50% Ni, 0,50% Zn, 0,15% Sn e o restante de alumínio

QUADRO III (Continuação)

Amo ^o Metal	Material de tra da matriz enchimento	Processamento		Tensão na rotu- ra por tracção (MPa)	Alonga- mento na rotura (%)	Módulo de elasti- cidade (GPa)	Coefi- ciente de dilatata- ção tér- mica, α_C ($\times 10^{-6}$)	Resistên- cia à rotura por tracção (MPa $m^{1/2}$)		Dens. (g/cm^3)	Volume de enchi- mento (%)
		Tempo (Hrs)	Temp. (oC)								
AF	Al-12Si- -2Mg	Mistura de SiO ¹⁸	15	750	122(4)	.087	190	10,2	8,76(6)	3,06	67
AG	413,0 [§]	Mistura de SiC ¹⁸	15	750	148(5)	.096	210	10,2	10,18(6)	2,90	65
AH	336,2 [*]	Mistura de SiC ¹⁸	15	750	123(5)	.079	188	8,7	7,52(6)	2,95	65
AI	Al-15Si	Mistura de SiC ¹⁸	1,5	800	---	---	---	---	---	---	72
AJ	Al-15Si	Mistura de SiC ¹⁸	1,5	800	---	---	---	---	---	---	71

§ 11,0-13,0% Si, $\leq 2,0\%$ Fe, $\leq 1,0\%$ Cu, $\leq 0,35\%$ Mn, $\leq 0,10\%$ Mg, $\leq 0,50\%$ Ni, $\leq 0,50\%$ Zn, $\leq 0,15\%$ Sn e o restante de alumínio.

* 11,0-13,0% Si, $\leq 1,2\%$ Fe, $\leq 0,5-1,5\%$ Cu, $\leq 0,35\%$ Mn, $\leq 0,7-1,3\%$ Mg, $\leq 2,0-3,0\%$ Ni, $\leq 0,35\%$ Zn, $\leq 0,25\%$ Ti e o restante de alumínio.

Exemplo 4

Este exemplo demonstra a viabilidade e a importância de usar uma vedação extrínseca que ajuda a formação de um compósito com matriz de metal de alumínio. Especificamente, foram feitos dois conjuntos de montagem semelhantes. A única diferença entre eles foi que um dos conjuntos foi provido de um material que forma uma vedação extrínseca e/ou outro não foi provido de um material que forme uma vedação extrínseca.

A fig. 2 é uma vista esquemática em corte de um conjunto experimental de acordo com o Exemplo 4, tendo sido proporcionada uma vedação extrínseca (34) para o sistema. Como atrás se referiu, prepararam-se dois conjuntos experimentais, um com vedação extrínseca e um sem vedação. Como se mostra na fig. 8, construíram-se dois recipientes impermeáveis (32), com um diâmetro interior de cerca de 60 mm (2 3/8") e uma altura de cerca de 64 mm (2 1/2") a partir de aço inoxidável tipo 304 AISI de calibre 16 (1,6 mm de espessura). Cada um dos recipientes (32) foi feito soldando um tubo de aço inoxidável de calibre 16 (1,6 mm de espessura) (35), com cerca de 60 mm (2 3/8") de diâmetro interior e cerca de 64 mm (2 1/2") de comprimento, numa placa de aço inoxidável (36) com um comprimento de 83 mm (3 1/4"), uma largura de 83 mm (3 1/4") e 1,6 mm de espessura. Encheu-se cada um dos recipientes impermeáveis (32) com cerca de 150 gramas de material de enchimento (31) constituído por alumina de 90 grits, um produto designado por 38 Alundum^R, da Norton Co.. Vazou-se em cada recipiente

(32), ambos à temperatura ambiente, aproximadamente 675 g de um metal da matriz fundido (33) constituído por uma liga de alumínio existente no mercado, designada por 170.1 para cobrir o material de enchimento (31). O metal da matriz fundido estava a uma temperatura de cerca de 900°C. Para o conjunto experimental da fig. 1A, o metal da matriz fundido (33) foi depois coberto com um material (34) que forma uma vedação. Especificamente, colocaram-se cerca de 20 g de pó de B_2O_3 , da Aesar Co., de Seabrook, NH, sobre o metal da matriz de alumínio fundido (33). Colocou-se cada um dos conjuntos experimentais num forno de caixa de ar atmosférico aquecido por resistência, o qual foi pré-aquecido a uma temperatura de cerca de 900°C. Passados cerca de quinze minutos a essa temperatura, o material de B_2O_3 (34) tinha-se fundido substancialmente por completo, para formar uma camada vítrea. Além disso, alguma água que ficara retida no B_2O_3 evaporou-se de maneira substancialmente completa, formando-se desse modo uma vedação impermeável aos gases. Cada um dos conjuntos foi mantido no forno durante mais duas horas, a cerca de 900°C. Depois retiraram-se os dois conjuntos do forno e as placas (36) do recipiente (32) foram colocadas em contacto directo com uma placa de arrefecimento de cobre, arrefecida por água, para solidificar direccionalmente o metal da matriz.

Arrefeceram-se os dois conjuntos até à temperatura ambiente e foram cortados transversalmente para determinar se o metal da matriz (33) se tinha infiltrado no material de enchimento (31) para formar um compósito com ma-

triz de metal. Verificou-se que o conjunto experimental representado na fig. 2, que utilizou o material de vedação (34), formou um compósito com matriz de metal, enquanto que o conjunto que não usou um material de vedação (34), não formou um compósito com matriz de metal.

Exemplo 5

Este exemplo demonstra a viabilidade e a importância de usar uma vedação extrínseca que ajuda a formação de um corpo compósito com matriz metálica de bronze. Os procedimentos experimentais e os conjuntos experimentais descritos no Exemplo 4 foram repetidos de maneira substancial, excepto que o metal da matriz era constituído por uma liga de bronze de cerca de 93%, em peso de Cu, cerca de 6%, em peso de Si e cerca de 1% de Fe. A composição e a quantidade do material de enchimento foram substancialmente as mesmas que se descreveram no Exemplo 4. Além disso, os recipientes de aço inoxidável e a vedação de B_2O_3 que forma o material foram substancialmente idênticos aos materiais do Exemplo 4. O metal da matriz de bronze foi pré-aquecido até uma temperatura de cerca de $1\ 025^{\circ}C$ para o fundir antes de ser vazado no recipiente à temperatura ambiente. Cada um dos conjuntos experimentais, que compreendem os recipientes de aço inoxidável e os seus conteúdos, foi colocado no mesmo forno de caixa com atmosfera de ar aquecido por resistência usado no Exemplo 4, excepto que o forno foi pré-aquecido até uma temperatura de cerca de $1\ 025^{\circ}C$. A temperatura no forno foi depois elevada até cerca de $1\ 100^{\circ}C$ durante cerca

de vinte minutos, durante os quais o pó de B_2O_3 substancialmente se fundiu, se libertou dos gases e formou uma vedação estanque aos gases. Mantiveram-se depois ambos os conjuntos experimentais a cerca de $1\ 100^{\circ}C$ durante cerca de duas horas. Retiraram-se os conjuntos do forno colocaram-se as placas do recipiente em contacto directo com uma placa de arrefecimento de cobre arrefecida por água para solidificar direccionalmente o metal da matriz.

Arrefeceram-se os dois conjuntos até à temperatura ambiente e depois cortaram-se transversalmente para determinar se o metal da matriz de bronze se tinha infiltrado no material de enchimento para formar um compósito com matriz matriz metálica. De maneira análoga ao que se observou no Exemplo 4, o conjunto que utilizou o material de vedação de B_2O_3 formou um compósito com matriz de metal de bronze, enquanto que o recipiente sem material de vedação B_2O_3 não formou um corpo compósito com matriz de metal.

Exemplo 6

Este Exemplo demonstra a importância de utilizar um recipiente impermeável aos gases que ajuda a formação de compósitos com matriz metálica de alumínio. Especificamente compararam-se um recipiente impermeável aos gases e quatro recipientes impermeáveis aos gases. Os quatro recipientes impermeáveis aos gases incluíam um recipiente impermeável metálico de aço inoxidável AISI tipo 304, calibre 16, uma chávena de café vidrada existente no mercado, um recipiente de aço inoxidável AISI Tipo 304 de calibre 16,

revestido numa sua parte interior com B_2O_3 , e um corpo de Al_2O_3 vidrado. O recipiente permeável era constituída por um cadinho de argila poroso. O Quadro 1 apresenta um resumo dos parametros relevantes da experiência.

Amostra BA

Encheu-se com aproximadamente 150 g de 38 Alundum de 90 mesh da Norton Co um recipiente de aço inoxidável Tipo 304, com um diâmetro interior de cerca de 60 mm ($3/8"$) e uma altura de cerca de 64 mm ($2\ 1/2"$). Fundiu-se num forno de caixa com atmosfera de ar aquecido por resistência a cerca de $900^{\circ}C$ um metal da matriz de alumínio com a composição (percentagem, em peso) de 7,5 - 9,5% de Si, 3,0 a 4,0% de Cu, menos de 2,9% de Zn, 2,2 a 2,3% de Mg, menos de 1,5% de Fe, menos de 0,5% de Mn, menos de 0,35% de Sn e o restante de alumínio, e vazou-se no recipiente de aço inoxidável. Utilizou-se B_2O_3 em pó da AESAR Co. para cobrir a superfície de alumínio fundido. (O conjunto experimental foi o mesmo que se representou na fig. 2). Colocou-se o conjunto, constituído pelo recipiente e os seus conteúdos, num forno de caixa com atmosfera de ar aquecido por resistência a $900^{\circ}C$. Após cerca de quinze minutos a essa temperatura o pó de B_2O_3 tinha fundido de maneira substancialmente completa e libertado dos gases para formar uma vedação impermeável aos gases sobre a superfície do metal da matriz de alumínio. Manteve-se o conjunto no forno durante mais duas horas. Retirou-se o conjunto do forno e pôs-se em contacto com uma placa de arrefecimento de cobre arrefecida por água

para solidificar direccionalmente o metal da matriz.

Amostra BB

Seguiu-se o procedimento descrito atrás para a Amostra A, excepto que o recipiente (representado na fig. 2) era constituído por uma chávena de café vidrada disponível no mercado.

Amostra BC

Revestiu-se numa sua parte interior com uma camada de pó de B_2O_3 da AESAR Co de Johnson Matthey em Seabrook, NH um recipiente impermeável com um diâmetro de cerca de 43 mm (1,7") e uma altura de cerca de 64 mm (2,5") e feito de aço inoxidável AISI Tipo 304 de calibre 16 (1,6 mm de espessura). Especificamente colocaram-se cerca de 13 mm (1/2") de pó de B_2O_3 no interior do recipiente. Colocou-se depois o recipiente num forno com atmosfera de ar aquecido por resistência, posto a cerca de $1\ 000^{\circ}C$. Deu-se um tempo suficiente para que o B_2O_3 se fundisse e desgaseificasse substancialmente. Uma vez fundido, retirou-se o recipiente de aço inoxidável com o B_2O_3 fundido do forno e rodou-se de modo tal que o B_2O_3 escorreu sobre substancialmente toda a porção interior do recipiente de aço inoxidável. Com a superfície coberta de maneira substancialmente completa, colocou-se um material de enchimento constituído por SiC de 54 grit, Crystolon da Norton Co., no interior do recipiente, que estava então à temperatura de cerca de $90^{\circ}C$, até uma profundidade de cerca de 19 mm (3/4"). Vazou-se um metal da

matriz fundido, constituído por alumínio comercialmente puro e designado por liga 1 100, no interior do recipiente até uma profundidade de cerca de 19 mm (3/4") para cobrir o material de enchimento. O recipiente revestido com B_2O_3 e o seu conteúdo foram colocados num forno com atmosfera de ar aquecido por resistência, posto a cerca de 1 000°C, durante cerca de 15 minutos. Colocaram-se depois cerca de 20 g de B_2O_3 no forno sobre a superfície do metal da matriz fundido. Após cerca de quinze minutos a esta temperatura, o pó de B_2O_3 tinha-se fundido e desgasificado de maneira substancialmente completa para formar uma vedação. Manteve-se o conjunto experimental no forno mais uma hora. Retiraram-se depois o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo do forno e deixou-se arrefecer até à temperatura ambiente e solidificar.

Amostra BD

Fabricou-se um recipiente impermeável de forma cilíndrica, com cerca de 152 mm (6") de altura e cerca de 51 mm (2") de diâmetro exterior. Especificamente, o recipiente foi feito moendo primeiramente, com um moinho de bolas, num recipiente de nalgeno de cerca de 18,9 litros, cheio até cerca de 1/4, com meios de trituração de alumínio de cerca de 13 mm, durante cerca de 2 horas, uma mistura de cerca de 84,2%, em peso, de Al_2O_3 (Al-7 da Alcoa, Pittsburgh, PA), cerca de 1%, em peso de "Dargan 8214" (fornecido pela R.T. Vanderbilt and Company, Norwalk, CT) e cerca de 14,8%, em peso de água destilada. Esta mistura que forma uma pasta

fluida foi depois moldada num molde para proporcionar um cilindro com as dimensões atrás referidas.

Secou-se o recipiente, moldado deste modo, aproximadamente à temperatura ambiente durante 1 dia, depois aqueceu-se até cerca de $1\ 400^{\circ}\text{C}$, com uma velocidade de cerca de $200^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ e manteve-se a cerca de $1\ 400^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas e arrefeceu-se de novo até à temperatura ambiente. Depois da cozedura e do arrefecimento, revestiu-se por imersão o exterior do recipiente com uma mistura compreendendo, em peso, cerca de 60% de uma frita EL-79 (fornecida pela Fusion Ceramics, Carroliton, OH) e o restante de etanol. O recipiente revestido com a frita foi depois aquecido e arrefecido a cerca de $200^{\circ}\text{C}/\text{hora}$, até $1\ 000^{\circ}\text{C}$ num forno aquecido por resistência, para vidrar o recipiente de Al_2O_3 e torná-lo impermeável aos gases. Uma vez arrefecido, encheu-se a concha vidrada com SiC de 39 grit, Crystolon. Colocou-se depois o conjunto constituído pelo recipiente revestido vidrado e o seu conteúdo num forno e aqueceu-se a cerca de 950°C à velocidade de $200^{\circ}\text{C}/\text{hora}$. Enquanto dentro do forno, vazou-se um metal da matriz fundido, constituído, em peso, por cerca de 10% de magnésio, cerca de 10% de silício e o restante de alumínio, no molde. Vazou-se depois B_2O_3 em pó sobre a superfície do metal da matriz fundido. Após cerca de uma hora a 950°C , arrefeceu-se o forno para cerca de 850°C , altura em que se retiraram do forno o recipiente e o seu conteúdo, solidificou-se e arrefeceu-se na água. O recipiente compreendendo o corpo de alumina coberto de vidrado rachou e abriu fendas durante a imersão na água para revelar

um compósito com matriz de metal com uma superfície lisa.

Uma vez à temperatura ambiente, seccionaram-se os dois conjuntos para determinar se o metal da matriz se infiltrou no material de enchimento para formar um compósito com matriz de metal. Formou-se em todas as amostras A a D um compósito com matriz de metal.

Amostra BE

Seguiram-se os procedimentos atrás referidos para a Amostra A, excepto que o recipiente representado na fig. 1A era constituído por um cadinho de argila poroso (Cadinho DFC Nº 28-1000, da J.H. Berge Co. South Plainfield, NJ). Não se formou um corpo compósito com matriz de metal. Assil, o Exemplo demonstra a necessidade de um recipiente impermeável.

Exemplo 7

Este exemplo demonstra a importância de utilizar um recipiente impermeável aos gases que ajuda a formação de compósitos com matriz de bronze. Especificamente, compararam-se um recipiente permeável aos gases e dois recipientes impermeáveis aos gases. Os dois recipientes impermeáveis incluíam um recipiente de aço inoxidável AISI Tipo 304 e um recipiente de aço carbono revestido com grafite coloidal. O recipiente permeável era constituído por um cadinho de argila poroso. O Quadro IV apresenta um resumo dos processos experimentais relevantes.

Amostra BF

Encheu-se um recipiente de aço inoxidável Tipo 304 com um diâmetro interior de cerca de 60 mm (2 3/3") e uma altura de cerca de 64 mm (2 1/2") com aproximadamente 150 g de Alundum de 90 mesh da Norton Co. Fundiu-se, num forno de atmosfera de ar aquecido até cerca de 1 025°C, um metal da matriz constituído por cerca de 6%, em peso, de Si, 1%, em peso, de Fe e o resto de Cu, e vazou-se para cobrir a superfície de bronze fundido. Colocou-se o conjunto num forno aquecido por resistência até cerca de 1 025°C. Elevou-se depois a temperatura do forno até cerca de 1 100°C durante cerca de vinte minutos, tendo durante esse tempo o pó de B₂O₃ fundido de maneira substancialmente completa, desgasificado e formado uma vedação impermeável aos gases sobre a superfície do metal da matriz. Após mais duas horas, retirou-se o conjunto do forno e pôs-se em contacto com uma placa de arrefecimento de cobre, arrefecida por água, para solidificar direccionalmente o metal da matriz.

Amostra BG

Fabricou-se um recipiente impermeável com uma secção trapezoidal com uma extremidade fechada medindo cerca de 76 x 76 mm (3" x 3") e uma extremidade aberta medindo cerca de 92 x 92 mm (3,75" x 3,75") e uma altura de cerca de 64 mm (2,5"), de aço carbono de calibre 14 (2 mm de espessura) soldando entre si peças individuais. Revestiu-se a superfície interior do recipiente com uma mistura de gra-

fite constituída por cerca de 1,5 partes, em volume, de etanol da Pharmco Products, Inc., de Bayonne NJ, e cerca de uma parte, em volume, de grafite coloidal DAG-154 da Atheson Colloids, Port Horon, MI. Aplicaram-se pelo menos três revestimentos da mistura de grafite com uma escova de ar sobre a superfície interior do recipiente. Deixou-se secar cada uma das camadas da mistura de grafite antes de aplicar a seguinte. Colocou-se o recipiente revestido num forno com atmosfera de ar aquecido por resistência, posto a 380°C durante cerca de 2 horas. Colocaram-se cerca de 13 mm ($1/2''$) de um material de enchimento de alumina constituído por El Alundum de 90 grit da Norton Co. no fundo do recipiente e nivelou-se substancialmente. Cobriu-se depois de maneira substancialmente completa a superfície nivelada do material de enchimento de alumina com um produto de fita de grafite com uma espessura de cerca de 0,25 mm (0,01") (um produto de fita de grafite de grau PF-25-H da TT America, Inc., Portland, OR), vendido sob a marca Perma-foil. Vazaram-se cerca de 13 mm ($1/2''$) de um metal da matriz fundido contendo, em peso, cerca de 6% de silício, cerca de 0,5% de Fe, cerca de 0,5% de Al e o restante de cobre, no recipiente à temperatura ambiente, sobre a fita de grafite e do material de enchimento de alumina. Vazaram-se cerca de 20 g de pó de B_2O_3 sobre o metal da matriz de bronze fundido. Colocou-se o conjunto experimental, constituído pelo recipiente de aço carbono e o seu conteúdo, num forno de caixa com atmosfera de ar aquecido por resistência, a uma temperatura de cerca de $1\ 100^{\circ}\text{C}$. Após cerca de 2,25 horas a cerca de $1\ 100^{\circ}\text{C}$, tendo durante este

tempo o B_2O_3 fundido de maneira substancialmente completa, sido desgasificado e formado uma vedação, removeram-se o recipiente de aço carbono e o seu conteúdo do forno e colocaram-se sobre uma placa de arrefecimento de cobre arrefecida com água, para solidificar direccionalmente o metal da matriz. Embora o metal da matriz fundido tenha dissolvido uma porção do recipiente de aço carbono liso, recuperou-se do conjunto um corpo compósito com matriz de metal.

Amostra BH

Seguiram-se os procedimentos descritos na Amostra F, excepto que o recipiente (ilustrado na fig. 2) era constituído por um cadinho de argila poroso (cadinho DFC Nº 28-1000, da J.H. Berge Co, South Plainfield NJ) e o conjunto foi colocado directamente no forno a $1\ 100^{\circ}C$ em vez de a $1\ 025^{\circ}C$ com o aquecimento subsequente.

Uma vez à temperatura ambiente, seccionou-se cada um dos conjuntos correspondentes às amostras BF, BG e BH, para determinar se o metal da matriz se infiltra no material de enchimento para formar um corpo compósito com matriz de metal. Observou-se que os conjuntos experimentais correspondentes às amostras BF e BG criaram condições favoráveis para a formação de um corpo compósito com matriz de metal, enquanto que o conjunto correspondente à amostra BH, com o cadinho de argila poroso não criou as condições favoráveis para a formação de um corpo compósito com matriz de metal.

Este Exemplo ilustra a necessidade de um recipiente impermeável aos gases em conjunção com uma vedação

impermeável aos gases para criar condições favoráveis para a formação de um vácuo autogerado que produza um compósito com matriz de metal.

Exemplo 8

Este Exemplo demonstra que pode usar-se uma certa variedade de metais da matriz em combinação com um recipiente impermeável aos gases e uma vedação impermeável aos gases para criar condições favoráveis para a formação de corpos compósitos com matriz de metal. O Quadro V contém um resumo das condições experimentais usadas para formar um certo número de corpos compósitos com matriz de metal, incluindo vários metais da matriz, materiais de enchimento contendo meios, temperaturas de processamento e tempos de processamento.

Amostras BI-BM

Para as amostras BI-BM, repetiram-se substancialmente o conjunto experimental representado na fig. 2 e as fases descritas no Exemplo 4. A quantidade de material de enchimento usada para cada um destes conjuntos foi de cerca de 150 g, enquanto que a quantidade de liga foi de cerca de 525 g. Produziram-se com êxito corpos com matriz de metal a partir de todos os conjuntos experimentais.

Amostras BN-BO

Para as amostras BN e BO, repetiu-se substancialmente o processo do Exemplo 4, excepto que a temperatura do forno foi cerca de $1\ 100^{\circ}\text{C}$.

Amostra BP

O conjunto experimental usado para a Amostra BP foi ligeiramente diferente de todos os conjuntos até aqui descritos. Construiu-se a totalidade do conjunto à temperatura ambiente e colocou-se num forno eléctrico de resistência, à temperatura ambiente. Especificamente, utilizou-se como recipiente impermeável um cadinho de alumina sinterizada, com cerca de 102 mm (4") de altura e com um diâmetro interior de cerca de 66 mm (2,6"), da Bolt Ceramics de Conroe, TX. Colocou-se material de enchimento de 38 Alundum Al_2O_3 de 90 grit da Norton Co. no fundo do cadinho. Colocou-se um lingote cilíndrico maciço de metal da matriz, constituído por ferro fundido cinzento (ASTM A-48, grau 30,35) no topo do material de enchimento de modo que se cria um intervalo entre o metal da matriz e as paredes laterais do recipiente. Colocou-se gesso de Paris (Bondex da International Inc., Brunswick, OH) numa parte do intervalo junto de uma parte superior do lingote de ferro fundido no interior do recipiente. Além disso, o gesso de Paris serviu para isolar a B_2O_3 com pó que foi colocado numa superfície superior do metal da matriz, a partir do material de enchimento, ajudando assim à formação de um meio de vedação, nas condições do processo. O conjunto foi colocado num for-

no com atmosfera de ar, aquecido por resistência e aquecido desde a temperatura ambiente até cerca de $1\ 400^{\circ}\text{C}$ em cerca de 7 horas, tendo durante esse tempo o B_2O_3 fundido substancialmente, sido desgasificado e formado uma vedação impermeável aos gases sobre o ferro fundido. Pela fusão, verificou-se que o nível do ferro fundido desceu depois de quatro horas a essa temperatura. Retirou-se o conjunto do forno e arrefeceu-se.

Amostras BQ-BT

Para as amostras BQ-BT repetiram-se substancialmente o conjunto representado na fig. 2 e as fases descritas no Exemplo 4. Os parâmetros específicos do metal da matriz do material de enchimento, do recipiente, das temperaturas e dos tempos estão indicados no Quadro V.

Amostra BU

O conjunto experimental usado para a amostra BU foi ligeiramente diferente de todos os conjuntos experimentais atrás descritos. De maneira análoga à Amostra BP, construiu-se a totalidade do conjunto à temperatura ambiente e colocou-se num forno aquecido por resistência à temperatura ambiente. Especificamente, utilizou-se como recipiente impermeável um cadinho de alumina densa e sinterizada, com cerca de 38 mm (1,5") de altura e com um diâmetro interior de cerca de 25 mm (1"), da Bolt Ceramics de Conroe, TX. Misturou-se um material de enchimento de carboneto de silício, conhecido por 39 Cystolon, e com dimensões das partículas de 54 grit, com cerca de 25%, em peso, de pó de

cobre de -325 mesh (da Consolidated Astronautics) e vazou-se a mistura no recipiente até uma profundidade de cerca de 13 mm (1/2"). Colocou-se cobre em pedaços, de liga C 811 (isto é, um arame de cobre substancialmente puro, cortado em vários pedaços) no topo do material de enchimento até uma espessura de cerca de 13 mm (1/2"). Colocou-se depois uma fita de grafite GRAFOIL^R no topo do cobre em pedaços de modo a cobrir substancialmente o cobre em pedaços. Colocou-se uma mistura de um meio de vedação de cerca de 50%, em peso, de B₂O₃, da Aesar Company e cerca de 50%, em peso, de Al₂O₃ de 220 grit, conhecido por 38 Alundum da Norton Co, no topo da fita de grafite, de modo a cobrir completamente a fita de grafite. Colocou-se o conjunto experimental num forno eléctrico aquecido por resistência com uma atmosfera de ar, desde a temperatura ambiente até cerca de 1 250°C em cerca de 6 1/2 horas, tendo durante esse tempo a mistura do meio de vedação fundido, sido desgasificada e tendo formado uma vedação no metal da matriz de cobre fundido, e manteve-se a cerca de 1 250°C durante cerca de 3 horas. Retirou-se o conjunto do forno e deixou-se arrefecer.

Todas as amostras BI-BU formaram corpos compostos com matriz de metal desejáveis. No Quadro V estão indicadas algumas propriedades físicas destas amostras.

Exemplo 9

Este exemplo demonstra que podem infiltrar-se vários materiais de enchimento por um metal da matriz de alumínio usando uma técnica de vácuo autogerado. Especificamente, utilizou-se um conjunto experimental análogo ao re-

presentado na fig. 2 neste exemplo. Além disso, seguiram-se os procedimentos descritos no Exemplo 4, excepto que o metal da matriz de alumínio tinha uma composição de 7,5-9,5% Si, 3,0-4,0% de Cu, menos de 2,9% de Zn, menos de 1,5% de Fe, menos de 0,5% de Mn, menos de 0,35% de Sn e o restante de alumínio. A composição e as dimensões das partículas do material de enchimento usado neste Exemplo, bem como outros parâmetros experimentais relevantes, estão listados no Quadro VI.

Uma vez arrefecidos os conjuntos até à temperatura ambiente, eles foram seccionados para determinar se se formou um compósito com material da matriz. Verificou-se que todas as amostras BV a CB deste Exemplo formaram compósitos com matriz de metal de alumínio.

Exemplo 10

Este Exemplo demonstra que uma variedade de materiais de enchimento podem ser infiltrados por um metal da matriz de bronze usando uma técnica de vácuo autogerado. Especificamente, usou-se um conjunto experimental representado na fig. 2. Além disso seguiram-se os procedimentos descritos no Exemplo 4, excepto que o metal da matriz de bronze continha cerca de 93%, em peso de Cu, 6%, em peso, de Si e 1%, em peso, de Fe. A temperatura do metal da matriz fundido e do forno foi de cerca de 1 100°C. A composição e as dimensões das partículas do material de enchimento usado neste Exemplo, bem como outros parâmetros experimentais relevantes estão ilustrados no Quadro VII.

Uma vez arrefecidos os conjuntos até à temperatura ambiente, eles foram seccionados para determinar se o metal da matriz se tinha infiltrado nos materiais de enchimento para formar corpos compósitos com matriz de metal correspondentes. Todas as amostras CC-CI deste Exemplo formaram corpos compósitos com matriz de metal.

QUADRO IV

IDENT. DA AMOSTRA	METAL DA MATRIZ	Mat. Ench.	TEMP. (°C)	TEMPO DE PROC.(h)	RECIPIENTE	FORMADO COM	
						PÓSITO COM	MATRIZ METÁLICA
A	Liga de alumínio ¹	90 Al ₂ O ₃ ⁺	900	2,25	Tipo 304 SS		Sim
B	Liga de alumínio ¹	90 Al ₂ O ₃ ⁺	900	2,25	Chávena de café vidrada		Sim
C	1100	54 SiC ⁺⁺	1000	1,5	Aço inoxidável tipo 304		Sim
D	Al-10% Si-10 Mg	90 SiC ⁺⁺	950	4	revestido de B ₂ O ₃ Concha Al ₂ O ₃ moldada por pasta fluída vidrada		Sim
E	Liga de Alumínio ¹	90 Al ₂ O ₃ ⁺	900	2,25	Cadinho de argila		Não
F	93% Cu-6% Si-1% Fe	90 Al ₂ O ₃ ⁺	1100	2,25	Aço inoxidável Tipo 304		Sim
G	93% Cu-6% Si-0,5% Fe-0,5% Al	90 Al ₂ O ₃ ⁺	1100	2,25	Aço carbono liso revesti- do de grafite coloidal		Sim
H	93% Cu - 6% Si - 1% Fe	90 Al ₂ O ₃ ⁺	1100	2,25	Cadinho de argila		Não

38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA

39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA

El Alundum, Norton Co., Worcester, MA

significa "grit"

SS significa "aço inoxidável"

1)

(7,5-9,5% Si, 3,0-4,0% Cu, 2,9% Zn, 2,2-2,3% Mg, 1,5% Fe, 0,5% Mn, 0,5% Ni, 0,35% Sn e o restante de alumínio)

QUADRO V

IDENT. DA AMOSTRA	METAL DA MATRIZ	MATERIAL DE ENCHIMENTO	MATERIAL DO RECIPIENTE	TEMPO		DENS. g/cm ³	COEF. DIL.	FIG. Nº
				TEMP. DE PROC.	DE PROC. (horas)			
I ¹	5052	Al ₂ O ₃ ⁺ 90grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,30	....	7A
J	1100	Al ₂ O ₃ ⁺ 90grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	....	....	..
K	6061	Al ₂ O ₃ ⁺ 90grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,44	12,7	7B
L	170.1	Al ₂ O ₃ ⁺ 90grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,39	12,3	7C
M	Liga de Alumínio ¹	Al ₂ O ₃ ⁺ 90grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,58	12,7	7D
N	93% Cu 6% Si 0,5% Fe	Al ₂ O ₃ ⁺ 90grit	SS Tipo 304	1100°C	2,25	5,92	11,2	7E
O	93% Cu 6% Si 0,5% Fe 0,5% Al	Al ₂ O ₃ 90grit	SS Tipo 304	1100°C	2	....	....	
P	Ferro fundido cinzento	Al ₂ O ₃ 90grit	Al ₂ O ₃ sinterizado	1400°C	4	5,68	....	
	Grau 30,35 ASTM A-48 ²							
Q	50% Al 50% Cu	SiC ⁺⁺ 54grit	SS Tipo 304	900°C	1,5	....	....	
R	75% Cu 25% Al	SiC ⁺⁺ 54grit	SS Tipo 304	1100°C	1,5	....	....	
S	90% Cu 5% Si 2% Fe 2% Zn 1% Al	SiC ⁺⁺ 54grit	SS Tipo 304	1125°C	2	....	....	
T	90% Cu 5% Si 2% Fe 3% Zn	SiC ⁺⁺ 90grit	SS Tipo 304	1100°C	2	....	....	
U	C 811 (Cobre cortado em pedaços)	SiC 54grit	Al ₂ O ₃ sinterizado	1250°C	3	....	....	

38 Alundum Norton Co. Worcester, MA

39 Crystolon, Norton CO, Worcester, MA

Bolt Ceramics, Conroe, TX

Kelly Foundry, Elkins, WV

I¹ (7,5-9,5% Si, 3,0-4,0% Cu, menos de 2,9% Zn, 2,2-2,3% Mg, menos de 1,5% Fe, menos de 0,5% Ni, menos de 0,35% Sn e o restante de Al).

QUADRO VI

IDENT. DA	AMOSTRA	METAL DA MATRIZ	MATERIAL DE ENCHIMENTO	MATERIAL DO RECIPIENTE	TEMPER. (h)	TEMPO		DENS. TERM. (g/cm^3) (10 ⁻⁶ /°C)	FIG. Nº.
						DE	PROC.		
V	Liga de alumínio ¹		Al ₂ O ₃ 90 grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,58	12,7	10A
W	"		SiC 90 grit ⁺⁺	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,38	8,5	...
X	"		Al ₂ O ₃ 90 grit ⁺⁺⁺	SS Tipo 304	900°C	2,25	2,91	9,2	10B
Y	"		ZrO ₂ -Al ₂ O ₃ 90 grit ^{***}	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,48	12,6	10C
Z	"		TiN -100 grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,56	10,9	10D
AA	"		B ₄ C 100 grit	SS Tipo 304	900°C	2,25	2,67	11,4	10E
AB	"		Al ₂ O ₃ T-64 Tabular [*]	SS Tipo 304	900°C	2,25	3,47	10,0	10F
			(-24, - 48 grit)						

MCA 1360, Norton Co., Worcester, MA

Alundum El, Norton Co., Worcester, MA

39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA

38 Alundum, Norton Co. Worcester, MA

Atlantic Equipment Engineers, Bergenfield, N.J.

Alcoa, Pittsburgh, PA

ESK Engineered Ceramics, Waker Chemical, New Conaan, CT

(7,5-9,5% Si, 3,0-4,0% Cu, 2,9% Zn, 2,2-2,3% Mg, 0,5% Fe, 0,5% Ni, 0,5% Sn e o resto Al)

QUADRO VII

Nº de Ident.	METAL DA MATRIZ	MATERIAL DE ENCHIMENTO	TEMPO		MATERIAL DO PROC. RECIPIENTE	DENS. g/cm ³	MÓD.		FIG. Nº
			DE	DE			DE	COEF. ELAST. DIL. TERM.	
AC	93% Cu-6% Si-1% Fe	Al ₂ O ₃ ⁺ 38 90 grit	2,25	11,2	SS Tipo 304	5,92	11,2	154	11A
AD	93% Cu-6% Si-1% Fe	SiC ⁺ 90 grit	2,25	9,0	SS Tipo 304	5,01	9,0	124	11B
AE	93% Cu-6% Si-1% Fe	ZrO ₂ 90 grit - Al ₂ O ₃ ^{**}	2,25	....	SS Tipo 304	....	....	...	11C
AF	93% Cu-6% Si-1% Fe	Al ₂ O ₃ ⁺⁺⁺ 90 grit	2,25	10,5	SS Tipo 304	5,66	10,5	146	11D
AG	93% Cu-6% Si-1% Fe	Al ₂ O ₃ T-64 Tabular [*]	2,25	11,8	SS Tipo 304	5,52	11,8	128	11E
AH	93% Cu-6% Si-1% Fe	(-24, -48 grit)							
AI	93% Cu-6% Si-2% Fe-3% Zn	ZrO ₂ -80, -100 grit	2,25	....	SS Tipo 304	....	....	...	...
		Esferas ocas de Al ₂ O ₃ com o diâmetro de 3,556 mm (0,14")	2	3,9	SS Tipo 304	3,9	....	...	...

MCA 1360

38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA
 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
 El Alundum, Norton Co., Worcester, MA
 Norton Co., Worcester
 Musclev Shoals Minerals, Tuscombina, AL
 Alcoa, Pittsburgh, PA
 ESK Engineered Ceramics, Wacker Chemical, New Conaan, CT
 Ceralic Fillers, Inc. Atlanta, GA

Exemplo 11

Este exemplo demonstra ainda que podem infiltrar-se pré-moldes com uma percentagem, em volume, elevada de material de enchimento para formar corpos compósitos com matriz de metal utilizando a técnica do vazio autogerado. Utilizou-se um conjunto experimental semelhante ao usado no Exemplo 4, para produzir o corpo compósito com matriz de metal deste exemplo, como adiante se descreve.

Revestiu-se, no seu diâmetro interior e exterior, um pré-molde de carboneto de silício (obtido da I Squared R Element Inc., Akron, NY), com uma densidade em verde de cerca de 80%, em volume e tendo um diâmetro exterior de cerca de 51 mm (2") e um diâmetro interior de cerca de 19 mm (0,75"), e cortado com um comprimento de cerca de 19 mm (0,75") com uma geleia de petróleo (Vaseline^R Cheeseborough-Pond's, Inc. Greenwich, CT). Depois de o pré-molde de carboneto de silício ter sido revestido com a geleia de petróleo, como atrás se descreveu, colocou-se coaxialmente num cilindro de plástico. Preparou-se uma mistura de barreira que compreende, em peso, cerca de um parte de sílica coloidal (NYACOL^R 2040 NH₄, Nyacol Products, Ashland, MA), cerca de 2 partes de Al₂O₃ (38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA) de 500 grit, cerca de 1 parte de Al₂O₃ (38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA) de 220 grit e cerca de 0,2 partes de água. Vazou-se esta mistura de barreira, depois de eliminação da espuma e do ar, em torno de, e no interior do pré-molde de carboneto de silício revestido com a geleia de

petróleo e deixou-se endurecer à temperatura ambiente durante cerca de duas horas. Decorridas cerca de duas horas, retirou-se o excesso de água da mistura de barreira e colocaram-se o cilindro de plástico e o seu conteúdo num congelador e mantiveram-se a cerca de -18°C , durante cerca de oito horas. O pré-molde revestido com a mistura de barreira foi depois retirado do cilindro, de plástico e colocou-se o pré-molde revestido num forno de caixa com atmosfera de ar aquecido por resistência, mantendo-se a cerca de $1\,000^{\circ}\text{C}$ durante cerca de 1 hora.

Colocou-se depois o pré-molde revestido com a mistura de barreira no fundo de um recipiente impermeável construído com aço inoxidável tipo 304 de calibre 16 (1,6 mm de espessura), tendo um diâmetro interior de cerca de 76 mm (3") e uma altura de cerca de 83 mm (3,25"). Antes de colocar o pré-molde revestido com a mistura de barreira no recipiente de aço inoxidável, colocou-se um pedaço de folha de grafite (Perma-Foil, TT America, Portland, OR), no fundo do recipiente de aço inoxidável. Preencheu-se o espaço entre o pré-molde revestido com a mistura de barreira e o recipiente de aço inoxidável com um material de leito constituído por Al_2O_3 (Alundum, Norton Co., Worcester, MA) e colocou-se uma peça de folha de grafite no topo do pré-molde revestido com a mistura de barreira e um leito de alumina. Vazou-se um metal de matriz fundido, constituído, em peso, por cerca de 0,5% Fe, 0,5% Al, 6% Si, e o restante de cobre, no recipiente de aço inoxidável e sobre a folha de grafite. Depois, deitou-se B_2O_3 em pó sobre o metal da matriz fundido e colo-

cou-se o conjunto experimental, compreendendo o recipiente de aço inoxidável e o seu conteúdo, num forno de caixa com atmosfera de ar, aquecido por resistência, ajustado para cerca de $1\ 100^{\circ}\text{C}$. Deixaram-se decorrer cerca de 15 minutos para que o pó de B_2O_3 fundisse substancialmente, se desgassificasse e formasse uma vedação impermeável aos gases. Manteve-se o conjunto experimental a cerca de $1\ 100^{\circ}\text{C}$ durante mais cerca de 2 horas, após as quais se retirou o conjunto experimental do forno e se colocou numa placa de arrefecimento de cobre arrefecida por água para solidificar direcionalmente o compósito com matriz de metal.

Uma vez à temperatura ambiente, cortou-se o recipiente de aço inoxidável retirando-o do metal de matriz residual solidificado e do compósito formado, envolvido pelo revestimento de barreira. Verificou-se que a folha de grafite facilitou a separação da carcaça do metal da matriz do compósito com matriz de metal. Além disso, observou-se que o metal da matriz não tinha sido infiltrado no material do leito de Al_2O_3 de 500 grit. O compósito formado foi depois colocado num aparelho de limpeza com jacto de areia, removendo-se assim o material de barreira para revelar que o metal da matriz se tinha infiltrado no pré-molde de carboneto de silício com uma carga de material de enchimento.

R E I V I N D I C A Ç Õ E S

1.- Material de blindagem, caracterizado por compreender:

um corpo compósito com matriz de metal, compreendendo o referido corpo compósito com matriz de metal pelo menos um material de enchimento e pelo menos um metal da matriz, estando o referido material de enchimento ou os referidos materiais de enchimento presentes numa quantidade de pelo menos cerca de 40 por cento em volume.

2.- Material de blindagem de acordo com a reivindica-

ção 1, caracterizado por o ou os metais da matriz compreenderem pelo menos um material escolhido do grupo formado pelo cobre, o titânio, o ferro, o ferro fundido, o alumínio, o níquel e o aço.

3.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ou os metais da matriz compreenderem pelo menos um material escolhido do grupo formado pelo alumínio, o cobre, o bronze e o ferro fundido.

4.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ou os referidos materiais de enchimento compreenderem pelo menos um material escolhido do grupo formado pela alumina, a magnésia, a zircônia, o carboneto de silício, o dodecarboneto de alumínio, o diboreto de titânio, o carboneto de titânio e o nitreto de alumínio.

5.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por o ou os referidos materiais de enchimento compreenderem pelo menos um material escolhido do grupo formado pela alumina e o carboneto de silício.

6.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ou os referidos metais da matriz compreenderem alumínio.

7.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ou os materiais de enchimento estarem presentes numa quantidade de pelo menos 68 por cento, em volume.

8.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ou os referidos materiais de enchimento estarem presentes numa quantidade de pelo menos cerca de 75 por cento, em volume.

9.- Material de blindagem de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ou os referidos materiais de enchimento compreenderem pelo menos um material escolhido do grupo formado pela magnésia, a zircônia, o carboneto de silício, o dodecarboreto de alumínio, o diboreto de titânio e o nitreto de alumínio e o ou os referidos metais da matriz compreenderem alumínio.

10.- Material de blindagem, caracterizado por compreender um corpo compósito com matriz de metal, compreendendo o referido corpo compósito com matriz de metal pelo menos um material de enchimento escolhido do grupo formado pela magnésia, a zircônia, o carboneto de silício, o dodecarboreto de alumínio, o diboreto de titânio e o nitreto de alumínio e pelo menos um metal da matriz que compreende o alumínio, estando o ou os materiais de enchimento presentes numa quantidade de pelo menos cerca de 40 por cento, em volume.

Lisboa, 29 de Outubro de 1990 ,

O Agente Oficial da Propriedade Industrial

R E S U M O"MATERIAIS ANTIBALÍSTICOS E PROCESSOS PARA A FABRICAÇÃO DOS MES
MOS"

A invenção refere-se a um material de blindagem novo e aos processos para a sua fabricação. Em particular, forma-se um corpo compósito com matriz de metal com um material de enchimento e um metal da matriz, estando o material de enchimento presente numa quantidade de pelo menos 50 por cento, em volume.

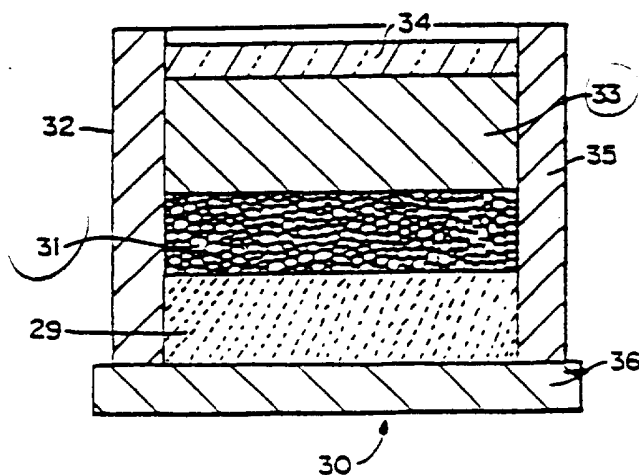
37

Fig. 2

Lisboa, 29 de Outubro de 1990

O Ato de 67/90 da Presidência da República

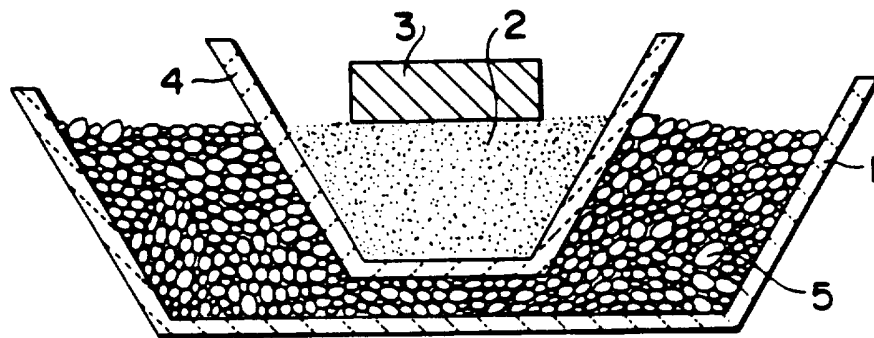


Fig. 1

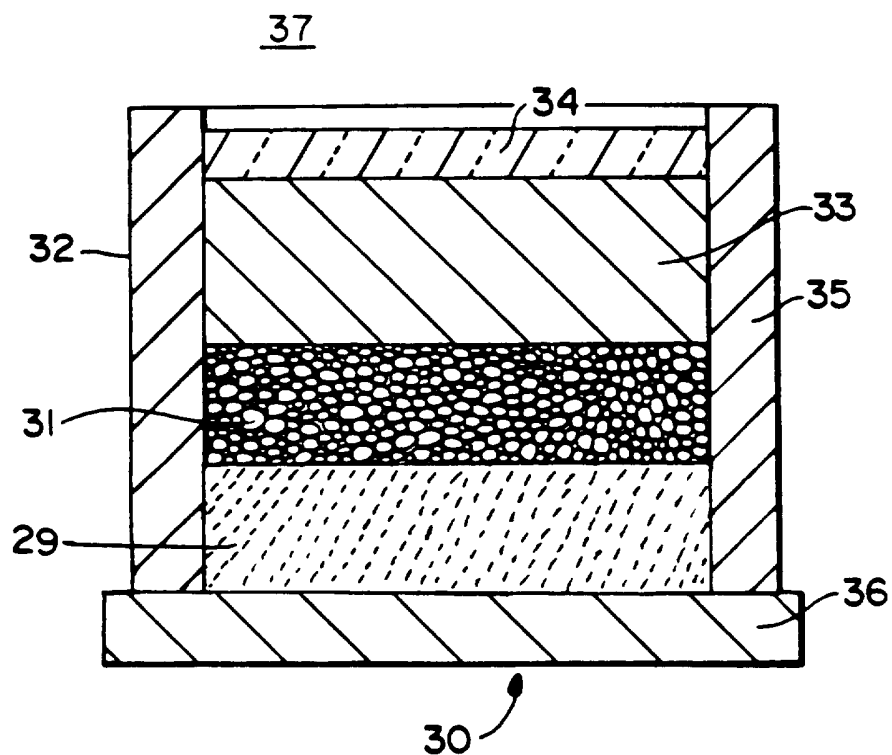


Fig. 2

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO

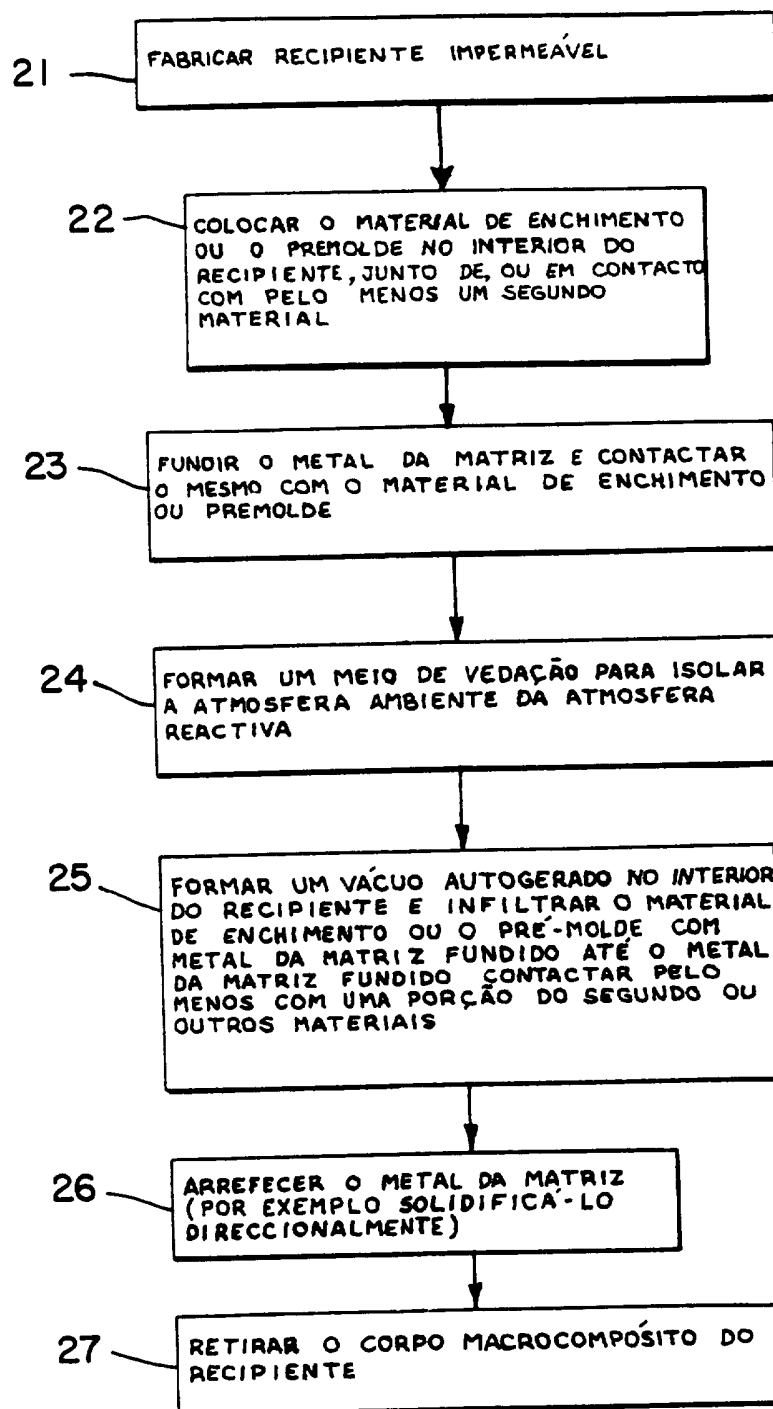


Fig. 3

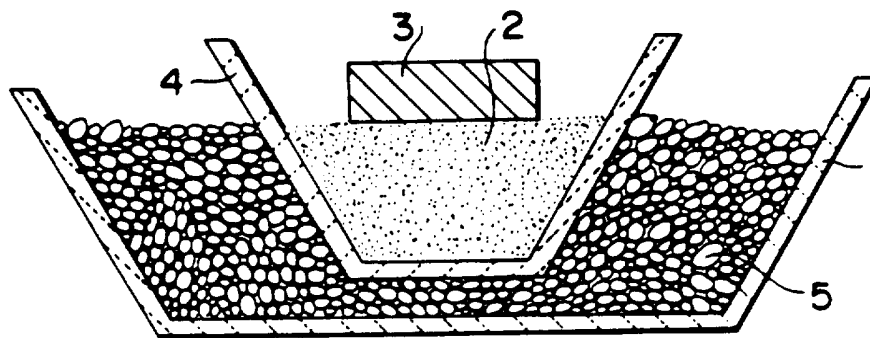


Fig. 1

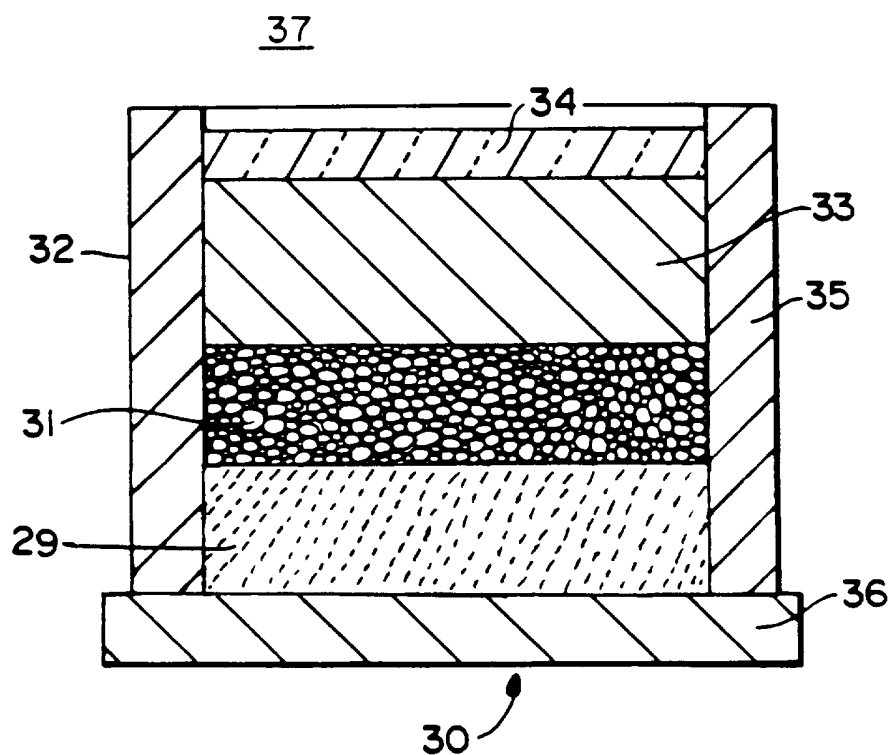


Fig. 2

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO

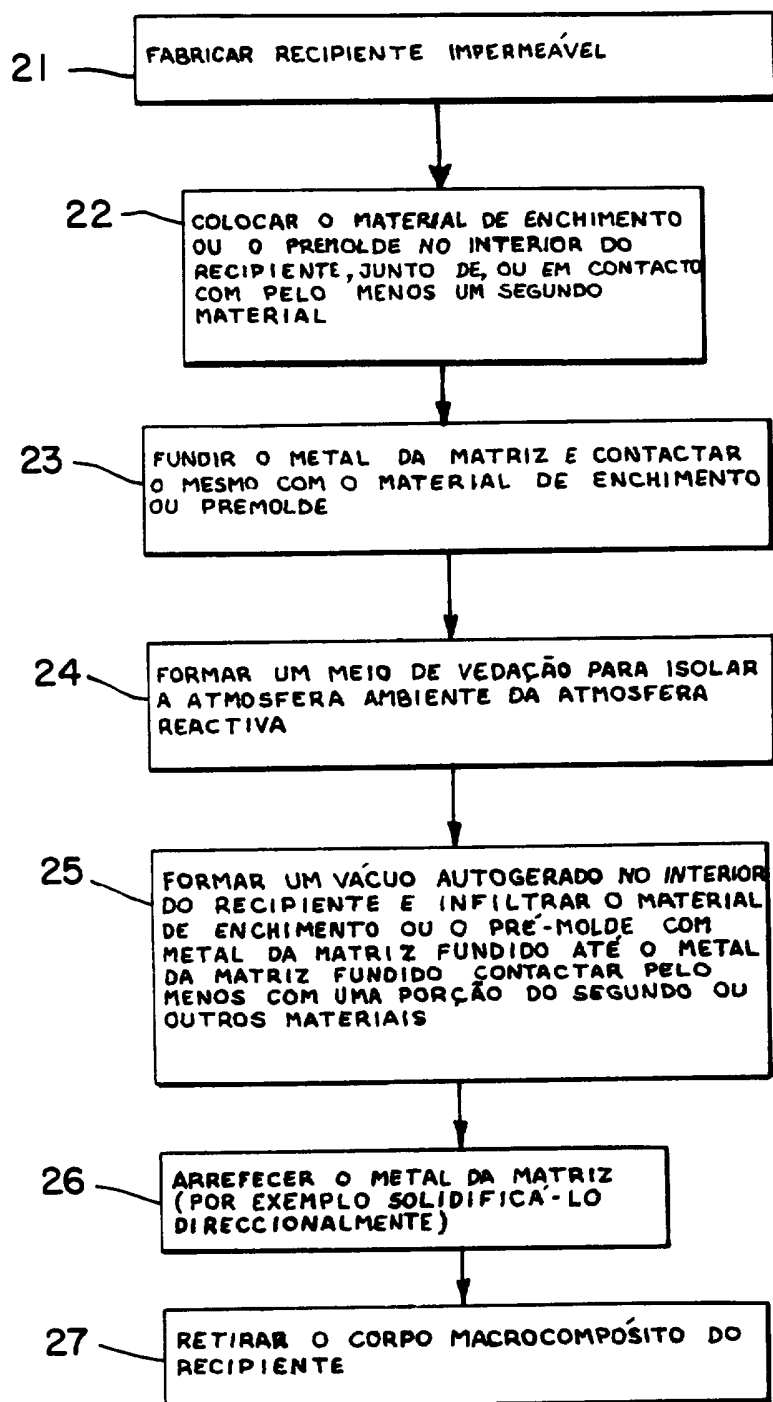


Fig. 3