

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

(21) **PI 0621912-8 A2**

BRPI0621912A2

(22) Data de Depósito: 28/07/2006

(43) **Data da Publicação:** 20/12/2011
(RPI 2137)

(51) Int.Cl.:

H05B 6/10

B23K 13/01

B23K 9/00

B23K 11/00

B23K 11/16

B23K 11/30

H01M 8/10

(54) Título: MÉTODO DE UNIR ESTRUTURAS TUBULARES CONCÊNTRICAS PARA FORMAR UMA ESTRUTURA TUBULAR COMPÓSITA E ESTRUTURA TUBULAR COMPÓSITA

(73) Titular(es): The Regents of the University of California

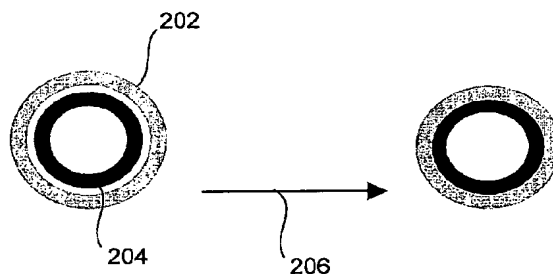
(72) Inventor(es): Craig P. Jacobson, Lutgard de Jonghe, Michael C. Tucker, Steven J. Visco

(74) Procurador(es): Orlando de Souza

(86) Pedido Internacional: PCT US2006029580 de
28/07/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2008/016345de
07/02/2008

(57) Resumo: MÉTODO DE UNIR ESTRUTURAS TUBULARES CONCÊNTRICAS PARA FORMAS UMA ESTRUTURA TUBULAR COMPÓSITA E ESTRUTURA TUBULAR COMPÓSITA. Objetos tubulares tendo duas ou mais camadas concêntricas que têm diferentes propriedades são unidos mutuamente durante sua fabricação principalmente por intermédio de forças compressivas e de fricção geradas pelo encolhimento durante sinterização e possivelmente interligação mecânica. Não é necessário que os tubos concêntricos apresentem ligação de adesivo, química ou de sinterização mutuamente para se obter uma ligação forte. Isso facilita a união de materiais diferentes, tais como cerâmicas e metais.



**MÉTODO DE UNIR ESTRUTURAS TUBULARES CONCÊNTRICAS PARA
FORMAR UMA ESTRUTURA TUBULAR COMPÓSITA E ESTRUTURA TUBULAR
COMPÓSITA**

Declaração de Apoio Governamental

5 Esta invenção foi feita com apoio do governo de
acordo com o Contrato DE-AC02-05CH11231 autorizado pelo
Departamento de Energia dos Estados Unidos para The Regents
of the University of California para o gerenciamento e
operação do Lawrence Berkeley National Laboratory. O
10 governo tem certos direitos sobre esta invenção.

Campo da Invenção

A presente invenção se refere à união de objetos tubulares
concentricamente dispostos e tem aplicações importantes em
dispositivos eletroquímicos de alta temperatura, tais como
15 células de combustível de óxido sólido. A invenção é relevante
para qualquer situação onde objetos tubulares são produzidos por
um método no qual o tubo encolhe radialmente sobre outro tubo a
partir da sinterização durante a fabricação, e o objeto
resultante tem propriedades que variam na direção radial.

20 **Antecedentes**

Dispositivos eletroquímicos de estado sólido são
normalmente células que incluem dois eletrodos porosos, o anódio
e o catódio, e uma membrana de eletrólito sólida densa disposta
entre os eletrodos. No caso de uma célula de combustível de óxido
25 sólido, por exemplo, o anódio é exposto ao combustível e o
catódio é exposto a um oxidante em sistemas fechados separados
para evitar qualquer mistura do combustível e dos oxidantes.

A membrana de eletrólito é normalmente composta de
um condutor de íon de oxigênio cerâmico nas aplicações de
30 célula de combustível de óxido sólido. Em outras

implementações, tal como dispositivos de separação de gás, a membrana sólida pode ser composta de um material de condução eletrônica, iônico, misto ("MIEC"). O anódio poroso pode ser uma camada de uma cerâmica, um metal ou um composto de cerâmica-metal ("cermet") que está em contato com a membrana de eletrólito pelo lado de combustível da célula. O catódio poroso é tipicamente uma camada de um óxido de metal misto ionicamente e eletronicamente condutor (MIEC) ou uma mistura de um óxido de metal eletronicamente condutor (ou óxido de metal MIEC) e um óxido de metal ionicamente condutor.

Células de combustível de óxido sólido normalmente operam em temperaturas entre aproximadamente 650°C e aproximadamente 1000°C para maximizar a condutividade iônica da membrana de eletrólito. Em temperaturas apropriadas, os íons de oxigênio migram facilmente através da treliça de cristal do eletrólito.

Como cada célula de combustível gera um volume relativamente pequeno; várias células de combustível podem ser associadas para aumentar a saída de força do sistema. Tais arranjos ou pilhas geralmente têm um modelo tubular ou planar. Os modelos planares têm, tipicamente, um anódio-eletrólito-catódio planar depositado sobre uma interconexão condutiva e empilhados em série. Contudo, os modelos planares são, geralmente, reconhecidos como tendo significativos problemas de segurança e confiabilidade devido à complexidade da vedação das unidades e tubulação em uma pilha planar. Modelos tubulares utilizando tubos de suporte porosos longos com eletrodos e camadas de eletrólito dispostas sobre o tubo de suporte reduzem o

número de vedações que são exigidas no sistema. Combustível ou oxidantes são direcionados através dos canais no tubo ou em torno do exterior do tubo.

A fabricação de estruturas tubulares concêntricas com múltiplas camadas que apresentam propriedades variadas para realizar tais modelos de célula de combustível tubulares é rotineira, especialmente no campo de dispositivos eletroquímicos de alta temperatura. A ligação entre as camadas é conseguida tipicamente através de ligação química ou de sinterização. Isso limita os tipos de materiais que podem ser ligados mutuamente. Por exemplo, uma camada de cerâmica e uma camada de metal geralmente não se ligam mutuamente de forma fácil por intermédio de meios químico ou sinterização. Adicionalmente, a oportunidade desejável de inspecionar o lado externo de uma camada concêntrica interna antes de aplicar uma camada concêntrica externa não está disponível em esquemas de fabricação convencionais onde todas as camadas são produzidas como um único corpo verde e subsequente sinterizadas em conjunto.

Desse modo, técnicas aperfeiçoadas para unir estruturas tubulares concêntricas adequadas para uso em dispositivos operando em altas temperaturas são necessárias.

Sumário da Invenção

A presente invenção trata dessa necessidade mediante provisão de um método de unir estruturas tubulares concêntricas para formar uma estrutura tubular compósita. Um método envolve dispor concentricamente uma estrutura tubular interna e uma estrutura tubular externa, e

sinterizar as estruturas tubulares concentricamente dispostas de modo que a estrutura tubular externa encolhe radialmente e mecanicamente se une à estrutura interna para formar a estrutura tubular compósita.

5 A invenção facilita a fabricação de objetos tubulares tendo duas ou mais camadas concêntricas que têm diferentes propriedades. As camadas são unidas uma à outra durante a fabricação das mesmas, primeiramente mediante forças de compressão e fricção e possivelmente interligação
10 mecânica; não é necessário que os tubos concêntricos apresentem ligação de adesivo; ligação química ou de sinterização, entre si, para se obter uma ligação forte. Isso facilita a união de materiais diferentes, tais como cerâmicas e metais. Uma vantagem adicional da invenção é a
15 oportunidade de inspecionar o lado externo de uma camada concêntrica interna antes de se aplicar uma camada concêntrica externa. Isso apresenta uma oportunidade para garantia de qualidade da camada concêntrica interna. Isso não é possível em um esquema de fabricação onde todas as
20 camadas são produzidas como um único corpo verde e subsequentemente sinterizadas em conjunto.

Além disso, o método de fabricação permite a incorporação de estruturas adicionais entre as estruturas internas e externas que são então unidas em conjunto para
25 formar estruturas mais complexas.

Essas e outras características e vantagens da invenção são descritas em detalhe adicional e com referência aos desenhos na descrição a seguir.

Descrição Resumida dos Desenhos

30 A Figura 1 ilustra uma vista em seção transversal de

um tubo experimentando sinterização livre.

A Figura 2 ilustra uma vista em seção transversal de um tubo externo sinterizado sobre um tubo interno pré-sinterizado, de acordo com a presente invenção.

5 As Figuras 3A-D mostram vistas esquemáticas em seção transversal de uma estrutura tubular, nesse caso um SOFC, preparados de acordo com a presente invenção.

10 A Figura 4 é uma imagem ampliada da interface dos componentes tubulares de uma célula de combustível de óxido sólido, preparada de acordo com o método da presente invenção descrito com referência às Figuras 3A-D.

15 As Figuras 5A-B ilustram uma modalidade de um aspecto da invenção em que a força de sinterização compressiva radial pode ser usada para capturar itens entre as estruturas tubulares internas e externas.

As Figuras 6A-B ilustram uma modalidade de um aspecto da invenção em que a força compressiva radial associada ao encolhimento do tubo externo em torno do tubo interno é suplementada por um tubo adicional ou anel.

20 As Figuras 7A-B ilustram uma modalidade de um aspecto da invenção em que a interligação mecânica entre os tubos externos e internos é aumentada quando a superfície do tubo interno tem protuberâncias.

Descrição Detalhada

25 Será feita agora em detalhe referência às modalidades específicas da invenção. Exemplos das modalidades específicas são ilustrados nos desenhos anexos. Embora a invenção seja descrita em conjunto com essas modalidades específicas, será entendido que não se pretende
30 limitar a invenção a tais modalidades específicas. Ao

contrário, se pretende abranger alternativas, modificações e equivalentes que possam estar incluídos no escopo das reivindicações anexas. Na descrição seguinte, vários detalhes específicos são apresentados para prover um
5 entendimento completo da presente invenção. A presente invenção pode ser praticada sem alguns ou todos esses detalhes, específicos. Em outros casos, operações de processos bem conhecidos não foram descritas em detalhes para não obscurecer desnecessariamente a presente invenção.

10 A invenção provê um método de unir estruturas tubulares concêntricas para formar uma estrutura tubular compósita. O método envolve dispor concentricamente uma estrutura tubular interna e uma estrutura tubular externa, e sinterizar as estruturas tubulares concentricamente
15 dispostas de modo que a estrutura tubular externa encolhe radialmente e se une mecanicamente à estrutura interna para formar a estrutura tubular compósita. A invenção facilita a fabricação de objetos tubulares tendo duas ou mais camadas concêntricas que têm propriedades diferentes. Os tubos não
20 precisam ser de seção transversal circular. As camadas são unidas umas às outras durante a fabricação das mesmas, principalmente por intermédio de forças compressivas e de fricção e possivelmente interligação mecânica; não é necessário que os tubos concêntricos apresentem ligação de
25 adesivo, química ou sinterização mutuamente para se obter uma ligação forte. Isso facilita a união de materiais diferentes, tais como cerâmicas e metais.

A invenção é aplicada de forma útil na fabricação de dispositivos eletroquímicos de alta temperatura, tais como
30 células de combustível de óxido sólido, e é descrita

principalmente aqui no contexto dessa modalidade. As células eletroquímicas geralmente compreendem um eletrólito condutor de íons entre um anódio poroso e catódio, cada um com seu coletor de corrente respectivo. Embora uma célula
 5 de combustível seja usada como um exemplo de uma célula eletroquímica para fins de ilustração, a invenção não é assim limitada, e será entendido que a célula eletroquímica pode ser um gerador de oxigênio, gerador de oxigênio, gerador de sin-gás ou separador de gás hidrogênio ou outro
 10 dispositivo eletroquímico similar.

As abreviações de materiais comuns a seguir, usadas na técnica, são algumas vezes usadas na descrição a seguir:

"YSZ" $(\text{ZrO}_2)_x(\text{Y}_2\text{O}_3)_y$ onde $(0,88 \geq X \geq 0,97)$ e $(0,03 \leq y \leq 0,12)$.

15 O material preferido é $(\text{ZrO}_2)_{0,92}(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0,08}$ ou $(\text{ZrO}_2)_{0,90}(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0,10}$ que estão disponíveis comercialmente.

"SSZ" $(\text{ZrO}_2)_{1-2x}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_x$, $(\text{ZrO}_2)_{1-2x}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_{x-z}(\text{Y}_2\text{O}_3)_z$ ou $(\text{ZrO}_2)_{1-2x-z}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_x(\text{CeO}_2)_z$ ($0 < X \leq 0.25$) ($0 < z \leq .1$). Materiais SSZ preferidos incluem $(\text{ZrO}_2)_{0.9}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_{0.05}$,
 20 $(\text{ZrO}_2)_{0.9}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_{0.045}(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.005}$, e $(\text{ZrO}_2)_{0.9}(\text{Sc}_2\text{O}_3)_{0.05}(\text{CeO}_2)_{0.01}$.

"LSM" $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_y\text{O}_{3-\delta}$ ($1 \geq X \geq 0.05$) ($0.95 \leq y \leq 1.15$) (δ é definido como aquele valor que significa um pequeno desvio a partir da estequiometria perfeita). Materiais LSM preferidos incluem $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$, $\text{La}_{0.65}\text{Sr}_{0.30}\text{MnO}_{3-\delta}$, e
 25 $\text{La}_{0.45}\text{Sr}_{0.55}\text{MnO}_{3-\delta}$.

"SYTO" $\text{Sn}_{1-x}\text{Y}_z\text{TiO}_{3-\delta}$ ($0.5 \geq X \geq 0$) ($0 \leq Z \leq 5$) (δ é definido como aquele valor significando um pequeno desvio a partir da estequiometria perfeita). Materiais SYTO preferidos incluem $\text{Sr}_{0.88}\text{Y}_{0.08}\text{TiO}_3$.

30 "CGO" $(\text{CeO}_2)_{1-2x}(\text{Gd}_2\text{O}_3)_x$ ($0 < X \leq 0.25$). Materiais CGO

preferidos incluem $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_{1.9}$ e $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$.

"LSGM" $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.85}\text{Mg}_{0.15}\text{O}_{2.825}$

A invenção é ilustrada conceptualmente nas Figuras 1 e 2. Corpos tubulares porosos experimentam encolhimento radial durante sinterização. A invenção explora esse encolhimento para unir tubos concêntricos entre si. Durante a sinterização de um objeto tubular poroso independente 100, o objeto encolhe ao longo da extensão do tubo e no plano da seção transversal. O perímetro e o diâmetro da seção transversal são reduzidos durante a sinterização, conforme indicado pelas setas 102 e 104, respectivamente, na Figura 1. O encolhimento geralmente aumenta com o tempo ou com temperatura de sinterização crescente. O encolhimento radial é acompanhado por uma força de sinterização compressiva na direção radial. Essa força pode ser utilizada para criar um ajuste muito apertado entre os tubos concêntricos de tal modo que os tubos se tornam mecanicamente ligados entre si. Em essência, o tubo externo pode ser "envolto por encolhimento" sobre o tubo interno.

No caso de uma célula de combustível de óxido sólido tubular, é desejável ter o coletor de corrente externa ("CC") em contato íntimo com o eletrodo externo. O CC proporciona uma conexão elétrica de baixa resistência para permuta de elétrons com a superfície do eletrodo, e a interface entre o CC e o eletrodo deve tolerar a realização de ciclos térmicos, vibração mecânica, etc. Portanto, a conexão elétrica, e a conexão mecânica entre o CC e o eletrodo devem ser robustas. A força de sinterização compressiva radial associada à sinterização de CC de acordo com a presente invenção pode prover essa conexão.

A Figura 2 ilustra, em seção transversal, o método da invenção para criar estruturas tubulares concêntricas unidas. A estrutura externa pode ser prensada, envolta, deslizada sobre ou de outro modo concentricamente disposta em torno da estrutura interna antes da sinterização. Antes da sinterização, a estrutura externa pode estar em contato mecânico com a estrutura interna, mas não há ligação robusta entre as duas. O CC externo 202 é montado mediante encolhimento sobre o corpo de célula 204 mediante sinterização, representada pela seta 206.

As Figuras 3A-D mostram vistas esquemáticas em seção transversal de uma estrutura tubular, nesse caso um SOFC, preparados de acordo com a presente invenção. Na Figura 3A, um tubo de três camadas 300 composto do CC interno 302 (por exemplo, metal poroso, cerâmica porosa, ou cermet poroso); eletrodo interno 304 (por exemplo, LSM/YSZ poroso, Ni/YSZ poroso, ou YSZ poroso a ser infiltrado com catalisador após preparação da célula); e eletrólito 306 (por exemplo, YSZ poroso que sinteriza de forma densa) é sinterizado em conjunto. Na Figura 3B, o eletrodo externo 308 (por exemplo, LSM/YSZ poroso, Ni/YSZ poroso, ou YSZ poroso a ser infiltrado com catalisador após preparação de célula) é então aplicado à superfície externa do eletrólito 306. Alternativamente, o eletrodo externo pode ser aplicado antes da sinterização descrita com referência à Figura 3A.

As Figuras 3C e 3D ilustram um aspecto principal desta invenção. Na Figura 3C, um tubo CC externo verde 310 (por exemplo, metal poroso) é colocado em torno da estrutura tubular interna 301 em um arranjo concêntrico. Os tubos concêntricos são então queimados durante o que o CC

externo 310 sinteriza e encolhe sobre o eletrodo externo 308, produzindo a estrutura ilustrada na Figura 3D. No caso de um tubo CC externo de aço inoxidável, a queima (sinterização) pode ser realizada em uma atmosfera redutora ou em um vácuo (por exemplo, 4% de H₂/96% de Ar) a 900-1400°C (1200-1300°C preferido) por 0,5-5 horas (2-4 horas preferido).

É possível aplicar uma camada adicional de material seja no lado externo do eletrodo externo ou no lado interno do CC externo antes de sinterizar o tubo externo sobre o tubo interno. Se essa camada for composta de um material fino, condutivo (por exemplo, LSM, LaCrO₃, Pr₂NiO₄, partículas de metal <25 micrômetros de tamanho tal como Ag, Au, Cu, Mo, Pt, FeCr, NiCr, e ligas dos mesmos, etc.) a conexão elétrica entre o eletrodo externo e o CC externo pode ser aperfeiçoada. Além disso, essa camada pode bloquear a interação química entre o material de eletrodo e o material de CC. Por exemplo, pode ser desejável bloquear o transporte de espécies de Cr a partir de um CC à base de NiCr ou FeCr sobre o eletrodo.

Se a estrutura tubular interna encolher menos do que o CC externo mediante exposição ao mesmo protocolo de sinterização, é possível sinterizar em conjunto ambos os tubos em uma única etapa. Em tal caso, ambos os tubos encolherão ao mesmo tempo, mas o tubo externo encolherá mais e, portanto, será comprimido contra o tubo interno.

A implementação desta invenção envolve protocolos de sinterização apropriados e porosidades selecionadas para cada um dos tubos concêntricos, de tal modo que o encolhimento apropriado associado a tais porosidades e

protocolos de sinterização para se obter o resultado desejado é obtido. Por exemplo, quando o tubo externo funciona como um coletor de corrente em um dispositivo eletroquímico ele deve compreender (a) espaço suficiente de
5 poros para permitir a passagem de reagentes e fluxos de produto e (b) partículas que são bem conectadas de modo a garantir integridade mecânica e coleta eficiente de corrente. Durante a etapa de sinterização, o tubo externo primeiramente sofre sinterização livre e encolhe até
10 contatar o tubo interno, após o que ele sofre sinterização restrita.

A folga inicial entre o tubo externo e o tubo interno é escolhida para ser suficientemente pequena de modo que o encolhimento radial durante sinterização livre
15 fecha a folga e garante contato do tubo interno e do tubo externo. Folgas adequadas dependem das propriedades de sinterização livre dos materiais envolvidos e serão facilmente verificáveis por aqueles versados na técnica dados os parâmetros aqui providos. Geralmente, uma folga
20 adequada está na faixa de aproximadamente 0-32% ou preferivelmente 0-18% do diâmetro interno do tubo externo.

Durante os períodos de sinterização livre e de sinterização restrita, a morfologia do tubo externo se desenvolve. Em geral, as partículas sinterizam mutuamente e
25 o volume de poros é reduzido. Portanto, onde um tubo externo poroso é desejado no produto final, tal como no caso de um SOFC CC, é crucial controlar a densidade verde do tubo externo para ser suficientemente baixa para permitir essa perda de volume de poros durante sinterização
30 enquanto mantendo suficiente espaço de poros na estrutura

final. A densidade verde do tubo externo deve ser suficientemente alta, contudo, para garantir resistência de manejo do tubo externo verde. A extensão de encolhimento radial, sinterização de partícula a partícula, e perda de volume de poros pode ser regulada pelos parâmetros do protocolo de sinterização, incluindo taxa de aquecimento, temperatura de sinterização, e tempo de sinterização. Geralmente, temperatura de sinterização aumentada e/ou tempo de sinterização aumentado causa encolhimento radial aumentado, sinterização de partícula aumentada, e perda de volume de poros. Parâmetros adequados para a seleção de materiais e processo de sinterização serão facilmente averiguados por aqueles versados na técnica, dada a presente revelação. O exemplo a seguir, abaixo, provê uma ilustração de alguns desses parâmetros.

A Figura 4 é uma imagem em seção transversal ampliada (x1000) da interface dos componentes tubulares de uma célula de combustível de óxido sólido, preparada de acordo com o método da presente invenção descrito com referência às Figuras 3A-D. O CC externo 402 (estrutura tubular externa) foi bem ligado à estrutura tubular interna (eletrodo externo 404, eletrólito 406, eletrodo interno 408 e CC interno 410). A interligação mecânica entre partículas de metal do CC externo 402 e as partículas YSZ do eletrodo externo 404 é visível na região indicada pelas setas na Figura 4. Observar que para esse conjunto específico de materiais, não há ligação química ou ligação de sinterização entre o CC externo 420 e o eletrodo externo 404. A ligação é obtida apenas pela força compressiva radial causando contato íntimo entre essas camadas durante

encolhimento e sinterização do CC externo 402.

Em geral, para uma implementação SOFC da invenção, os CCs, interno e externo, podem ser de metal poroso (por exemplo, FeCr, NiCr, Ni, Cu, Ag, Au, etc., ligas baseadas em FeCr, NiCr, Ni, Cu, Ag, Au, etc. e misturas dos mesmos) ou cermet (por exemplo, Ni/YSZ, Cu/YSZ, NiCr/YSZ, Ni/SSZ, Cu/SSZ, NiCr/SSZ, Ni/CGO, SYTO/YSZ, etc.); o eletrólito é cerâmico (por exemplo, YSZ, SSZ, CGO, LSGM, etc.); e os eletrodos podem ser metal, cermet ou cerâmica (por exemplo, Ni, Co, Ru, Pt, Ag, CeO₂, Cu/YSZ, Ni/YSZ, LSM/YSZ, etc.)

Por exemplo, algumas modalidades preferidas da invenção incluem unir um tubo coletor de corrente metálico externo sobre um tubo interno compreendendo (a) uma estrutura sustentada em anódio (por exemplo, eletrólito de YSZ fino sobre suporte de Ni/YSZ), (b) uma estrutura sustentada em eletrólito (por exemplo, eletrodo interno fino e suporte de YSZ grosso), ou (c) uma estrutura sustentada em metal (por exemplo, eletrólito de YSZ fino e eletrodo interno fino ou suporte de aço inoxidável). Além disso, o eletrodo externo pode ser aplicado durante ou após fabricação da estrutura de célula, ou pode ser aplicado mediante infiltração ou outro meio após o CC externo ser aplicado.

É possível suplementar a ligação mecânica obtida de acordo com a presente invenção por intermédio do uso de materiais decorados, conforme descrito no Pedido Internacional comumente atribuído PCT/US2005/043109, aqui incorporado mediante referência. Por exemplo, uma estrutura tubular externa compósita de metal (por exemplo, FeCr, NiCr, Ni, Cu, etc., ligas baseadas em FeCr, NiCr, Ni, Cu, etc., e misturas dos mesmos) decorada com partículas de

cerâmica (por exemplo, YSZ) podem formar uma ligação de sinterização em adição à união mecânica provida pela presente invenção. De acordo com esse método, a superfície do metal é decorada com partículas de cerâmica para
5 produzir um composto. A decoração envolve mecanicamente embutir, impregnar, empurrar, ou forçar ou de outro modo ligar um material menos dúctil na superfície de um material mais dúctil. Por exemplo, a superfície de um corpo de metal ou partícula pode ser decorada com partículas cerâmicas
10 mediante ação de empurrar a cerâmica para a superfície do metal. O metal se deformará em torno da partícula de cerâmica, e a fricção, tensão, e/ou interligação mecânica impedirá que a partícula de cerâmica seja facilmente removida da superfície de metal. A decoração geralmente
15 cobre parcialmente a superfície decorada, por exemplo, entre aproximadamente 10-80% da área de superfície de um material mais dúctil são decorados com um material menos dúctil. Algumas subfaixas úteis específicas são de 30-60%; aproximadamente 50%; ou aproximadamente 20-30% de cobertura
20 da área de superfície. Durante a sinterização dos tubos concentricamente dispostos, a estrutura tubular externa não somente encolhe para mecanicamente se ligar com a estrutura tubular interna, como também a decoração cerâmica na extremidade tubular externa se liga mediante sinterização à
25 cerâmica (por exemplo, o eletrodo externo ou eletrólito) da estrutura tubular interna para formar uma ligação ainda mais robusta. Esse método de união é adequado para unir materiais diferentes que são quimicamente inertes, um ao outro (por exemplo, metal e cerâmica), enquanto resultando
30 em uma ligação forte com uma interface nítida entre os dois

materiais. Um aglutinante, tal como hidroxipropilcelulose (HPC), pode ser adicionado ao meio de misturação durante a decoração para formar aglomerados do material de decoração sobre a superfície do material decorado para otimizar a
5 ligação de sinterização.

Também é possível suplementar a ligação mecânica obtida de acordo com a presente invenção através do uso de material de solda. Por exemplo, uma solda pode ser disposta no lado interno do tubo externo, fora do tubo interno, ou
10 entre os dois tubos. Durante queima do tubo externo sobre o tubo interno, a solda derrete e se liga aos tubos interno e externo, criando uma união forte entre os tubos. A solda também pode prover uma área vedada entre os tubos. Evidentemente a solda não precisa se estender pela extensão
15 total dos tubos, mas, mais propriamente pode ser disposta em áreas limitadas, por exemplo, em uma faixa próxima à extremidade dos tubos. Soldas adequadas incluem, mas não são limitadas àquelas baseadas em Ag, Au, Cu, Ni, Ti, Pd, Cr e suas ligas. Elementos adicionais tal como Ti, Hf, V,
20 Zr, etc. podem estar presentes na solda para promover umedecimento das superfícies cerâmicas. Por exemplo, uma solda de Ag, Cu contendo Ti pode ser disposta entre um tubo interno com uma superfície exterior de YSZ e um tubo externo compreendido de metal, resultando em ligação e
25 vedação aperfeiçoadas entre os dois tubos.

Evidentemente, também é possível que qualquer uma ou todas as camadas de eletrodo/eletrolito/ligação/solda/camadas condutivas sejam aplicadas no interior do tubo externo, e encolham sobre o tubo interno. Também é possível
30 que todos ou parte dos tubos metálicos sejam de um material

apropriado de tal modo que ele se torna mais denso após a sinterização. Isso é desejável para criar uma vedação, conexão, flange, tubulação, etc., ou prover uma área de contato de alta condutividade para troca de corrente para dentro e para fora da célula.

Como observado acima, quando um tubo externo encolhe até um ponto em que ele toca um tubo interno, a sinterização do tubo externo se torna restrita. Portanto, o encolhimento total do tubo externo será menor do que seria no caso de sinterização livre (isto é, se o seu encolhimento não fosse restrito pelo tubo interno). Mediante escolha da largura de folga entre o tubo interno e o tubo externo verde, o encolhimento (ou a quantidade de sinterização livre versus sinterização restrita) do tubo externo pode ser controlado. Isso pode ser útil no controle das propriedades do tubo externo sinterizado. Por exemplo, a densidade de um corpo sinterizado aumenta com o encolhimento total para uma determinada densidade verde. Portanto, mediante escolha de uma largura de folga pequena, o tubo externo encolherá em uma pequena extensão, desse modo mantendo uma densidade inferior do que seria obtido se o tubo externo pudesse sinterizar livremente.

Controlar o encolhimento total também poderia ser útil ao sinterizar em conjunto camadas que apresentam diferentes encolhimentos de sinterização livre. Por exemplo, uma camada cerâmica verde porosa fina poderia ser sustentada sobre um tubo verde de metal poroso. Se o encolhimento exigido para adensar a película cerâmica for muito menor do que o encolhimento de sinterização livre do suporte de metal, tensão de compressão significativa

poderia se desenvolver na película cerâmica à medida que o suporte de metal continua a sinterizar após a película ter adensado. Tal tensão poderia causar empenamento ou outros defeitos na película de cerâmica. Mediante inserção de um

5 tubo interno que é maior do que o ID de sinterização livre da estrutura verde de cerâmica/metal, o encolhimento da estrutura verde pode ser limitado a um valor próximo àquele exigido para adensamento da película cerâmica.

De acordo com outro aspecto da invenção, a força de

10 sinterização compressiva radial também pode ser usada para capturar itens entre estruturas tubulares, interna e externa. Uma modalidade desse aspecto da invenção é ilustrada em seção transversal longitudinal nas Figuras 5A-B. A conexão (conexões) 502 disposta entre tubos de

15 elemento tubular externo 504 (por exemplo, um coletor de corrente de metal poroso) e de elemento tubular externo 506 (por exemplo, uma estrutura de eletrólito/eletrodo de célula de combustível conforme ilustrado na Figura 3B) antes da sinterização. Após sinterização, a conexão 502 é

20 capturada entre o tubo interno 506 e o tubo externo 504, conforme ilustrado na Figura 5B. Essa técnica pode ser usada para unir estruturas tubulares mutuamente ou para um alojamento de suporte, ou ser usada para prover distribuição múltipla de fluido para o tubo interno.

25 Preferivelmente, a conexão 502 é ela própria submetida a algum encolhimento durante a sinterização, de tal modo que a conexão encolhe sobre o tubo interno e o tubo externo encolhe sobre a conexão. Isso otimiza a solidez da captura da conexão entre os tubos. Uma conexão

30 verde ligeiramente porosa que sinteriza até densidade total

durante encolhimento é preferida porque ela tem um ajuste solto em torno do tubo interno 506 antes da sinterização, mas pode ser hermética ao gás após sinterização. Alternativamente, em algumas circunstâncias, pode ser usada
5 uma conexão com um ajuste muito apertado sobre o tubo interno, mas que não encolhe durante sinterização.

Em uma alternativa adicional, a conexão e o tubo externo podem constituir um único elemento. Por exemplo, o tubo externo pode ser construído de tal modo que o corpo
10 principal do tubo permanece poroso após sinterização, mas a borda do tubo pode se tornar densa durante a sinterização, essencialmente se tornando útil como uma conexão. Evidentemente a espessura do corpo principal do tubo e a região de conexão não precisam ser idênticas. A área de
15 conexão pode incluir uma protuberância, flange, etc. que se torna denso durante a sinterização. Desse modo em uma única etapa o tubo externo poroso e a conexão podem ser unidos ao tubo interno. No caso onde o tubo interno encolhe durante queima, tal conexão pode ser também uma parte integral do
20 tubo interno. Além disso, uma vedação hermética pode ser obtida se uma solda for disposta entre os tubos em uma área onde ambos os tubos são densos após queima. Essas opções são particularmente atraentes quando ao menos uma das áreas densas é um metal. Um metal adequado pode ser FeCr, NiCr,
25 Ni, Ag, Cu, e ligas e misturas dos mesmos.

De acordo com outro aspecto da invenção, ilustrados nas Figuras 6A-B, a forma compressiva radial associada ao encolhimento do tubo externo em torno do tubo interno 606 pode ser suplementada, tal como em uma situação onde a
30 força básica provida pelo encolhimento do tubo externo 64

não é suficiente para prover uma boa ligação entre o tubo externo e o tubo interno, ou entre os tubos e uma conexão (conexões) 608. Força de sinterização compressiva radial adicional pode ser provida por intermédio de um tubo ou
5 anel adicional de um material 602 que tem uma força de compressão radial ou encolhimento livre durante sinterização que é superior àquela do tubo externo 604. Se tal tubo ou anel 602 for disposto fora do tubo externo 604, ele pode ajudar a forçar a união dos tubos e/ou conexão
10 (conexões) durante sinterização. O tubo ou anel adicional 602 poderia ser removido após a sinterização, ou deixado no lugar se ele não perturbar o funcionamento do dispositivo tubular.

As Figuras 6A-B mostram esse aspecto da invenção
15 antes e após a sinterização, respectivamente. Um anel/tubo 602 de material que apresenta um elevado encolhimento e/ou elevada força de compressão radial durante sinterização é usado para auxiliar na compressão em torno de uma conexão 608 disposta entre uma estrutura tubular verde externa 604
20 e uma estrutura tubular interna 606. As setas 610 representam a força de compressão provida pelo anel/tubo 602. O anel/tubo 602 também pode ser estendido ao longo da extensão do tubo externo 604 para prover força compressiva extra para unir o tubo interno 604 e o tubo externo 606.

25 De acordo com um aspecto adicional da invenção, ilustrado nas Figuras 7A-B, a interligação mecânica entre o tubo externo e o tubo interno pode ser aumentada se a superfície do tubo interno não for lisa. Por exemplo, a superfície do tubo interno pode ter protuberâncias;
30 nervuras; cristas; corrugação; entalhe; etc. À medida que

ele encolhe, o tubo externo se deforma em torno dos traços do tubo interno, proporcionando interligação mecânica. Tal cenário é ilustrado nas Figuras 7A-B. A Figura 7A ilustra um tubo interno 702 com protuberâncias 704 dispostas dentro
5 de um tubo externo 706 antes da sinterização de acordo com a presente invenção. A Figura 7B mostra a estrutura tubular compósita 708 após a sinterização. O tubo externo 706 se ajusta às protuberâncias 704 após encolhimento, proporcionando interligação mecânica de modo que os tubos
10 não podem girar ou deslizar com relação um ao outro.

Exemplo

O exemplo a seguir é provido para ilustrar e proporcionar detalhes estruturais e de desempenho para uma modalidade específica da presente invenção. O exemplo é
15 provido para exemplificar e mais claramente ilustrar os aspectos da presente invenção e de forma alguma pretende ser limitador.

O método para se obter a estrutura apresentada na Figura 4 será descrito. Nesse caso, o tubo interno
20 compreendido de uma camada de suporte de metal poroso (CC interno), eletrodo interno, e eletrólito YSZ denso. O eletrodo externo foi aplicado como uma tinta ao tubo interno antes de inserir o tubo interno no tubo externo. A tinta consistia em pó de YSZ, aglutinante acrílico aquoso,
25 e partículas formadoras de poros de polimetil metacrilato. O tubo externo (CC externo) foi desaglutinado, queimado, e deslizado em torno do tubo interno antes da sinterização dos dois tubos juntos. Durante a sinterização, o contato íntimo entre o eletrodo externo e o CC externo que é
30 evidente na Figura 4 foi obtido, e o eletrodo externo

sinterizou sobre o eletrólito do tubo interno. Observar que as etapas de desaglutinar e de queima são opcionais e geralmente dependem da escolha do aglutinante e do tipo de manejo exigido antes da sinterização do tubo externo. O

5 tubo interno foi previamente sinterizado a 1300°C antes das etapas aqui descritas. Portanto, o tubo interno encolheu muito pouco (<2%) durante a sinterização do tubo externo.

A tabela a seguir ilustra alguns parâmetros do tubo externo verde, processo de sinterização, e tubo externo

10 resultante. O tubo externo foi preparado para encaixar concentricamente em torno do tubo interno, o qual tinha diâmetro externo de 0,9 cm.

Tubo Verde		Protocolo de Sinterização		Tubo Final	
Tamanho de partícula	45-53 micrômetros	Taxa de aquecimento	200°C/h	Densidade do metal	70%
Densidade de metal	44%	Temperatura de sinterização	1275°C	Volume de poros	30%
Diâmetro interno do tubo	1,00cm	Tempo de sinterização	4h	Diâmetro interno de tubo	0,9cm
Folga para o tubo interno	0,05cm	Atmosfera de sinterização	4% de H ₂ /96% de Ar	Folga para o tubo interno	0 cm

O tubo externo foi preparado a partir de partículas de aço inoxidável de liga 434 atomizada à água, 45-53

15 micrômetros de tamanho. As partículas foram misturadas com aglutinante acrílico (solução aquosa de 15% em peso de acrílico) e formador de poros (polietileno glicol 300) em uma razão de 10g de metal: 2g de solução acrílica: 2g de formador de poro. A mistura resultante foi seca, moída, e

20 peneirada até um tamanho de aglomerado de <150µm. O pó resultante foi carregado em um molde tubular e prensado isostaticamente em 137,89 MPa. O diâmetro do mandril do molde foi escolhido para transmitir um diâmetro interno ao tubo externo que era maior do que o diâmetro externo do

25 tubo interno. Uma seção do tubo compactado verde foi

cortada em um comprimento similar àquele do tubo interno. O tubo verde foi então desaglutinado em ar a 525°C por 1 hora (0,5°C/min. de taxa de aquecimento) para remover o acrílico e o polietileno glicol 300. O tubo foi então queimado em atmosfera de redução (4% de H₂/96% de Ar) a 1000°C por 2 horas (200°C/hora de taxa de aquecimento). Durante a queima, o tubo sinterizou minimamente, obtendo resistência de manejo, porém encolhendo menos do que 3%.

Após queima, o tubo externo foi deslizado em torno do tubo interno (com eletrodo externo pintado) e ambos foram sinterizados juntos de acordo com o protocolo na tabela acima. Durante a sinterização, o eletrodo externo pintado sinterizou sobre o eletrólito de tubo interno, e o tubo externo encolheu sobre o tubo interno, criando uma ligação mecânica e contato íntimo entre o tubo externo e a camada externa do tubo interno.

Resultados similares foram obtidos com uma mistura de metais como o tubo externo. Por exemplo, 90% em peso de liga 434/10% em peso de Cu substituíram de forma bem-sucedida a liga pura 434 no exemplo acima. Esse método pode ser estendido para uma ampla faixa de tubos externos de metal ou cermet. Mediante ajuste, por exemplo, do protocolo de sinterização.

Nesse exemplo, o catalisador (por exemplo, LSM) para o eletrodo externo pode ser infiltrado após sinterização do tubo externo sobre o tubo interno. A infiltração pode ser realizada, por exemplo, por intermédio de uma técnica tal como apresentado no Pedido Internacional copendente PCT/US2006/015196, incorporado aqui mediante referência. Um método de formar um composto (por exemplo, um eletrodo

misto) mediante infiltração de uma estrutura porosa (por exemplo, aquela formada de um material ionicamente condutivo) com uma solução de um precursor (por exemplo, para um material eletronicamente condutivo) resulta em uma
5 camada de material particulado sobre e dentro da estrutura porosa com uma única infiltração. O método envolve formar uma solução compreendendo ao menos um sal de metal e um agente tensoativo; aquecer a solução até substancialmente evaporar o solvente e formar um sal concentrado e solução
10 de agente tensoativo (por exemplo, até entre aproximadamente 70 e 130°C); infiltrar a solução concentrada em uma estrutura porosa para criar um composto; e aquecer o composto até substancialmente decompor o sal e o agente tensoativo em partículas de óxido e/ou metal (por
15 exemplo, até superior a 500°C, mas abaixo de 1000°C, por exemplo, 800°C). O resultado é uma camada de material particulado sobre as paredes de poro da estrutura porosa. Em uma modalidade preferida, a camada de material particulado é uma rede contínua. Isso é vantajoso porque o
20 catalisador não precisa ser exposto às condições de redução de alta temperatura exigidas para sinterização do tubo externo.

Estruturas similares àquela mostrada na Figura 4 foram termicamente submetidas a ciclos entre 100-700°C, e
25 oxidadas em ar por >90h a 70°C sem perda de contato entre o tubo externo e o tubo interno.

Tubos coletores de corrente externa de aço inoxidável têm sido similarmente aplicados por intermédio do método descrito acima às estruturas SOFC tubulares
30 sustentadas em eletrólito. O tubo sustentado em anódio

compreendia um eletrólito YSZ denso, fino (aproximadamente de 25 micrômetros de espessura) sustentado sobre Ni/YSZ (aproximadamente 1 mm de espessura). O tubo sustentado em eletrólito compreendia uma camada de eletrólito YSZ densa
5 (aproximadamente 1 mm de espessura) com eletrodo interno fino (aproximadamente 25 micrômetros de espessura). Em ambos os casos o eletrodo externo foi pintado na superfície exterior do tubo interno antes da queima do tubo externo de aço inoxidável sobre o mesmo. O tubo externo de aço
10 inoxidável foi bem unido ao tubo interno no caso de ambos os tubos internos, sustentados em anódio e sustentados em eletrólito. É claramente possível usar adicionalmente esse método para aplicar um tubo externo coletor de corrente à estrutura de célula sustentada em catódio.

15 Estruturas similares àquelas descritas foram produzidas com uma variedade de dimensões para a altura e diâmetro do tubo interno e tubo externo, e a folga resultante entre os dois antes da sinterização do tubo externo.

20 Conclusão

Desse modo, a invenção facilita a fabricação de objetos tubulares tendo duas ou mais camadas concêntricas que têm propriedades diferentes. As camadas são unidas entre si durante a sua fabricação principalmente por
25 intermédio das forças de compressão e de fricção e possivelmente engate mecânico; não é necessário que os tubos concêntricos apresentem ligação de adesivo, química ou de sinterização mutuamente para se obter uma ligação forte. Isso facilita a união de materiais diferentes, tais
30 como cerâmicas e metais. Uma vantagem adicional da invenção

é a oportunidade de inspecionar o lado externo de uma camada concêntrica interna antes de aplicar uma camada concêntrica externa. Adicionalmente, o método de fabricação permite a incorporação de estruturas adicionais entre a
5 estrutura interna e a estrutura externa que são então unidas em conjunto para formar estruturas mais complexas.

Embora esta invenção seja descrita principalmente no contexto de células de combustível de óxido sólido tubulares, aplicabilidade mais ampla é considerada. A
10 invenção é relevante para qualquer situação onde objetos tubulares são produzidos por um método de elevada temperatura (superior a 900°C) no qual um tubo encolhe radialmente durante a fabricação, e o objeto resultante tem propriedades que variam na direção radial. Tais
15 propriedades incluem, mas não são limitadas a: tamanho de poro, porosidade total, composição química, isolamento ou condutividade eletrônica, isolamento ou condutividade térmica, resistência ao desgaste, etc.

Embora a invenção tenha sido descrita em algum
20 detalhe com o propósito de clareza de entendimento, será evidente que certas alterações e modificações podem ser praticadas dentro do escopo das reivindicações anexas. Deve-se observar que existem muitas formas alternativas de se implementar não apenas o processo como também as
25 composições da presente invenção. Consequentemente, as modalidades presentes devem se consideradas como ilustrativas e não restritivas, e a invenção não deve ser limitada aos detalhes aqui fornecidos.

Todos os documentos citados aqui são incorporados
30 mediante referência para todas as finalidades.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de unir estruturas tubulares concêntricas para formar uma estrutura tubular compósita caracterizado pelo fato de compreender:

5 formar estruturas tubulares internas e externas livres;

 dispor concentricamente a estrutura tubular externa sobre a estrutura tubular interna;

 sinterizar as estruturas tubulares concentricamente
10 dispostas de tal modo que a estrutura tubular externa encolha radialmente e se una mecanicamente à estrutura interna para formar a estrutura tubular compósita.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, antes da sinterização, a
15 estrutura tubular interna compreende um membro tubular sinterizado e a estrutura tubular externa compreende um membro tubular verde ou de primeira queima.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que antes da sinterização, a
20 estrutura tubular interna compreende um membro tubular verde ou de primeira queima e a estrutura tubular externa compreende um membro tubular verde ou de primeira queima que apresente um encolhimento linear superior a partir da sinterização livre do que o membro tubular interno.

25 4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que a estrutura tubular interna é um único membro tubular.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que a
30 estrutura tubular interna compreende uma pluralidade de

camadas concêntricas.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a disposição compreende deslizar a estrutura tubular externa sobre a estrutura tubular interna.

7. Método, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a estrutura tubular interna compreende camadas concêntricas compreendendo materiais selecionados do grupo consistindo em metais, cerâmicas e amálgamas ("cermets").

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura tubular externa compreende metal.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o metal é poroso.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o metal poroso é selecionado do grupo consistindo em FeCr, NiCr, Ni, Ag, Cu, e ligas e misturas dos mesmos.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender ainda uma ou mais características de interligação mecânica na superfície externa da estrutura tubular interna.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a estrutura tubular externa é deformada para engatar uma ou mais características de interligação mecânica.

13. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender ainda um membro intermediário disposto entre e mecanicamente unido às

estruturas tubulares, interna e externa.

14. Método, de acordo a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que o membro intermediário facilita a união da estrutura tubular a outros objetos.

5 15. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender ainda dispor concentricamente um terceiro membro em torno da estrutura tubular externa e aplicar uma força compressiva radial na estrutura tubular externa por intermédio de uma força
10 compressiva radial induzida por encolhimento do terceiro membro tubular durante sinterização que é maior do que aquela da estrutura tubular externa.

16. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a estrutura compósita é uma
15 estrutura de célula de combustível de óxido sólido e a estrutura tubular interna compreende:

uma camada coletora de corrente tubular interna compreendida de um metal poroso,

uma camada interna de eletrodo adjacente à camada
20 coletora de corrente interna, a camada interna de eletrodo compreendida de eletrólito cerâmico poroso,

uma camada de eletrólito adjacente à camada interna de eletrodo, a camada de eletrólito compreendida de uma cerâmica densa, e

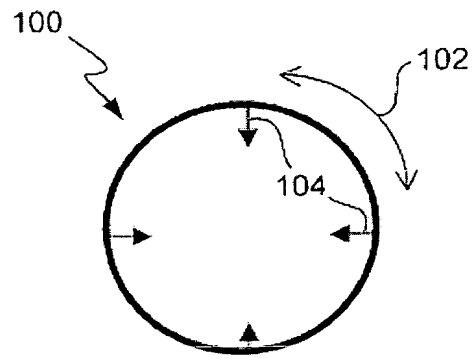
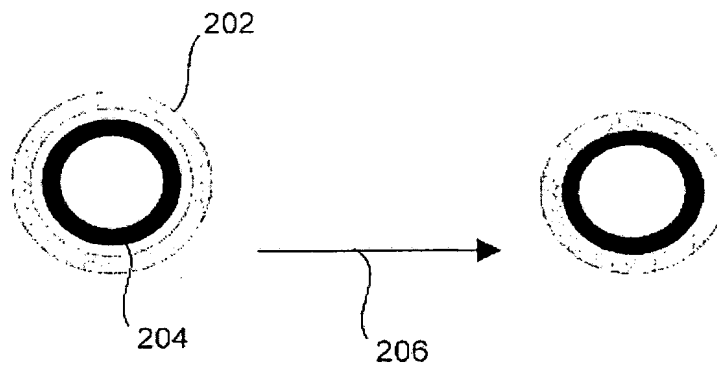
25 uma camada externa de eletrodo adjacente à camada de eletrólito, a camada externa de eletrodo compreendida de eletrólito cerâmico poroso.

17. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura tubular externa
30 compreende duas ou mais camadas concêntricas.

18. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a camada porosa de material condutivo é disposta entre os membros externo e interno antes da sinterização.

5 19. Método, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que o tamanho de partícula do material condutivo antes da sinterização é menor do que 25 micrômetros.

10 20. Estrutura tubular compósita caracterizada pelo fato de compreender estruturas tubulares interna e externa de materiais diferentes dispostas concentricamente, as estruturas tubulares interna e externa mecanicamente unidas por compressão radial da estrutura tubular externa em torno da estrutura tubular interna, a estrutura tubular compósita
15 sendo fabricada de acordo com o método definido nas reivindicações 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18 e 19.

**FIG. 1****FIG. 2**

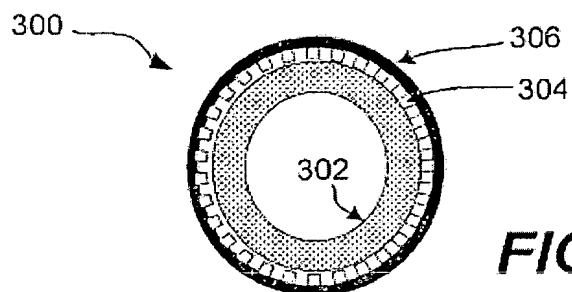
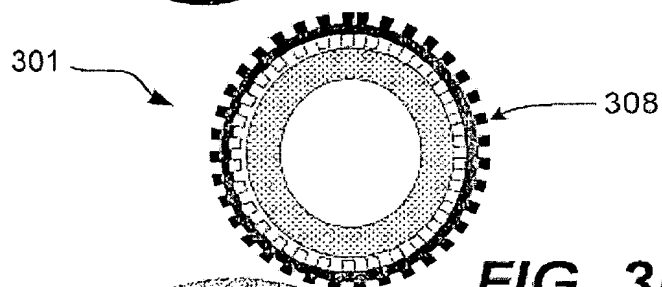
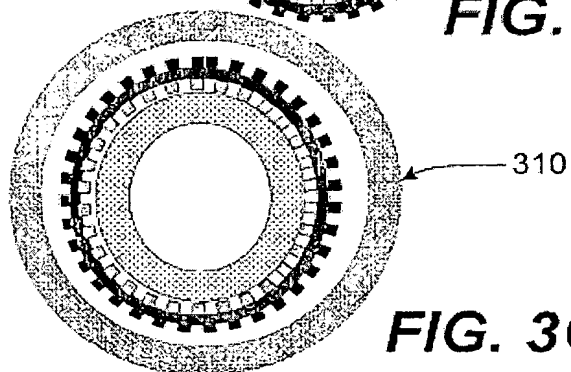
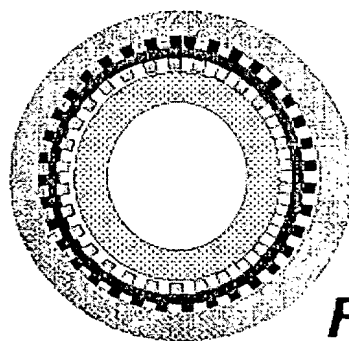
**FIG. 3A****FIG. 3B****FIG. 3C****FIG. 3D**



FIG. 4

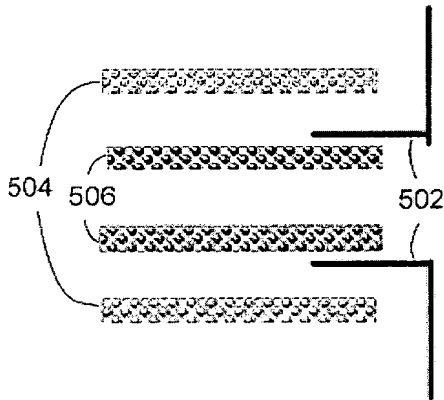


FIG. 5A

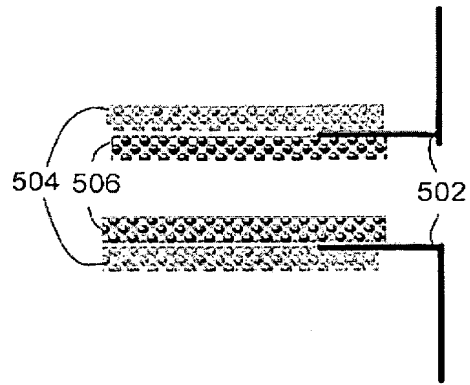


FIG. 5B

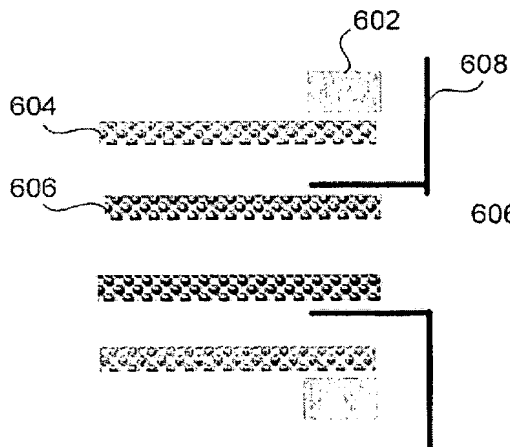


FIG. 6A

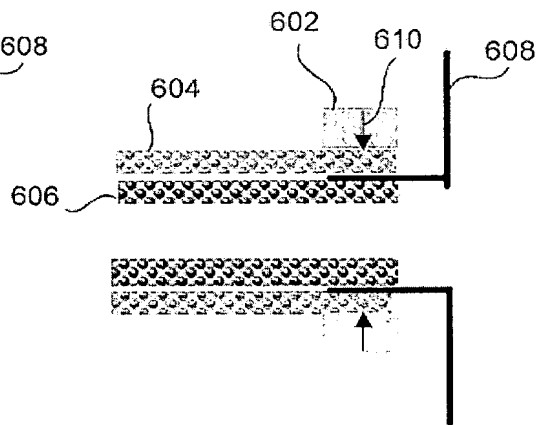


FIG. 6B

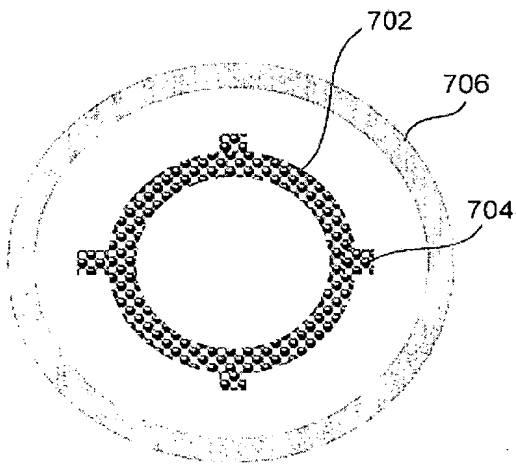


FIG. 7A

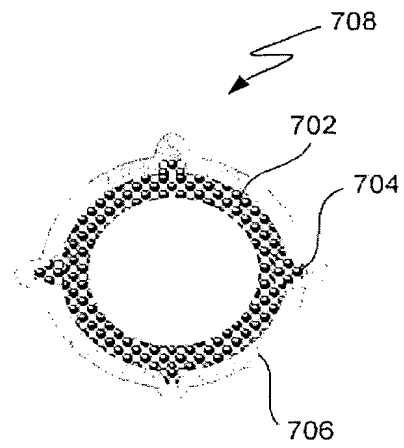


FIG. 7B

RESUMO

MÉTODO DE UNIR ESTRUTURAS TUBULARES CONCÊNTRICAS PARA
FORMAR UMA ESTRUTURA TUBULAR COMPÓSITA E ESTRUTURA TUBULAR
COMPÓSITA

5 Objetos tubulares tendo duas ou mais camadas
concêntricas que têm diferentes propriedades são unidos
mutuamente durante sua fabricação principalmente por
intermédio de forças compressivas e de fricção geradas pelo
encolhimento durante sinterização e possivelmente
10 interligação mecânica. Não é necessário que os tubos
concêntricos apresentem ligação de adesivo, química ou de
sinterização mutuamente para se obter uma ligação forte.
Isso facilita a união de materiais diferentes, tais como
cerâmicas e metais.