

RESUMO

"PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTOS POLIMÉRICOS PIEZOELÉCTRICOS"

A presente invenção consiste num processo para obtenção, em linha e em contínuo, de filamentos têxteis de secção variável que incluem um núcleo composto por: eléctrodos(1) revestidos por dieléctrico piezoactivo(2), que por sua vez está revestido por outro eléctrodo(3) e por uma camada isolante eléctrica(4).

Adicionalmente, podem ainda ser acrescentada(s) camada(s) destinada(s) a proporcionar ao filamento uma maior estabilidade estrutural, protecção mecânica, características de toque diferentes do filamento nu ou a possibilidade de ser tingido.

O processo de fabrico destes filamentos é baseado em métodos convencionais de co-extrusão nos quais são incorporados novos passos, mais concretamente o estiramento a temperatura controlada que possibilitam a obtenção da fase cristalina adequada do polímero piezoeléctrico e a polarização eléctrica do mesmo e o sistema de recirculação para activação do filamento com propriedades piezoeléctricas por polarização.

O filamento piezoeléctrico apresenta propriedades mecânicas que tornam possível a sua integração completa em produtos têxteis, através de processos têxteis convencionais,

permitindo a sua utilização como sensor ou actuator mecânico.

DESCRIÇÃO

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILAMENTOS POLIMÉRICOS PIEZOELÉCTRICOS

Campo da Invenção

A presente invenção consiste num novo processo de produção de filamentos piezoelétricos, para incorporação em materiais têxteis.

Antecedentes da invenção

O efeito piezoelétrico é conhecido desde o final do século 19, mas só na primeira guerra mundial teve a sua primeira utilização prática. Este efeito consiste no facto de certos materiais gerarem um potencial eléctrico em resposta directa a estímulos mecânicos, funcionando assim como sensor de força. Mais tarde seria demonstrado que os mesmos materiais produzem também uma acção mecânica em função de uma tensão eléctrica aplicada, ou seja, o efeito inverso.

Desde então, inúmeras aplicações têm surgido, em áreas diversas, tanto utilizando a vertente de sensor como a de actuador.

Os primeiros materiais em que se conseguiu demonstrar o efeito piezoelétrico eram cristais naturais, mais tarde foram desenvolvidos materiais cerâmicos com essa propriedade. Em ambos os casos, trata-se de materiais rígidos, com processos de fabrico e características físico/químicas dos materiais que limitam as dimensões e formas possíveis.

Mais recentemente, foram introduzidos no mercado sensores piezoelétricos baseados em polímeros piezoelétricos, sob a forma de filmes. Estes apresentam características idênticas

sob o ponto de vista de transdução (mecânico-eléctrica e eléctrica-mecânica), mas distinguem-se por serem mais leves, flexíveis, e, sobretudo, conformáveis e de fácil e versátil processo de fabrico, abrindo assim um novo leque de aplicações.

Muitos investigadores têm considerado a aplicação destes materiais na criação de novos têxteis, ditos "inteligentes". Estes poderiam integrar funções tais como monitorização de sinais vitais e movimentos (detecção de actividade física, medida de taxa respiratória, caracterização de movimentos desportivos, detecção de quedas e choques, etc) e para medição de forças dinâmicas, vibração, impacto, detecção e medida de movimento, captação de som, etc.

O documento de patente JP2003033050 incide sobre a aplicação de dispositivos piezoeléctricos, sob diversas formas, em vestuário, de modo a poder-se gerar energia eléctrica com o movimento natural do corpo humano. São referidas a utilização de dispositivos piezoeléctricos em filme ou folha flexíveis, ou dispositivos piezoeléctricos flexíveis sob forma de varão ou corda/fio.

Para além de o objecto da patente ser a aplicação desses materiais no vestuário e não os materiais ou seu processo de produção propriamente ditos, os materiais são substancialmente diferentes dos que são propostos na presente invenção.

A forma de filme não é uma forma típica de um material têxtil, isto é, apesar de ser flexível, não pode ser inserido em têxteis através dos processos convencionais, nem nunca será possível uma integração perfeita do material no têxtil, como se consegue com fios ou filamentos. O filme será sempre

colocado sobre o têxtil posteriormente à produção do mesmo, como um acrescento ao mesmo, não fazendo parte do material, como faria um fio.

Para a forma de varão, é proposta a utilização de compósitos baseados em cristais piezoelétricos (turmalina) ou em materiais cerâmicos piezoelétricos, imersos numa matriz polimérica. Os ditos varões são agrupados de uma forma fixa em telas, e sobre essas telas são depois impressos os eléctrodos, através de tintas de prata ou outros materiais. É assim perceptível que estes varões não funcionam individualmente, mas em grupo. O potencial eléctrico é gerado entre as duas faces do grupo de varões, isto é, os varões têm que estar numa posição bem definida para que o conjunto opere do modo desejado. Pelo contrário, na presente invenção os eléctrodos são produzidos em simultâneo com o dieléctrico, e são colocados radialmente. A diferença de potencial é gerada do eléctrodo interior para o exterior, independentemente da posição do filamento. Este facto permite a sua utilização nos processos têxteis convencionais, pois não há nenhuma restrição posicional, que seria impossível de controlar na integração do material piezoelétrico através de processos têxteis como tecelagem, tricotagem ou costura.

Dado documento refere ainda a utilização de fio piezoelétrico, baseado em fibras piezoelétricas cerâmicas da família dos PZT (Titano-zirconato de chumbo), como sendo uma aplicação de uso comum. É mencionado o exemplo de fibras piezoelétricas utilizadas em raquetes de ténis para amortecer o choque e vibração. Existem de facto diversas publicações sobre a utilização destes materiais (exemplo Wetherhold, R. et al. 1992), sendo inclusive possível encontrar estas fibras no mercado, por exemplo comercializadas pela empresa norte-

americana *CeraNova Corporation*. No entanto, mais uma vez estas aplicações utilizam as fibras de forma agrupada, e apenas em forma de compósito polimérico. O material é cerâmico, sendo, pois, frágil e muito difícil ou impossível de processar (por fiação, neste caso), para assumir a forma de fio. Sendo um facto que é possível tecer materiais tão frágeis quanto o vidro (em forma de mecha), o processo é complexo e os tecidos resultantes continuam pouco flexíveis e frágeis, difíceis de manusear.

Martin, Edmison *et al* (2002, 2004, 2006) integraram filmes piezoelétricos em vestuário, nos calcanhares, zonas dos joelhos e nas mãos, de modo a poderem fazer a caracterização do movimento dos utentes. Uma abordagem semelhante é descrita no documento de patente JP2002203996. Nele é proposta uma estrutura entrançada formada com fitas, as quais se apresentam, por sua vez, como uma disposição em *sandwich* de várias camadas, uma das quais um é material piezoelétrico. Em ambos os casos, a integração do sensor é precária. No primeiro caso, o sensor é adicionado de forma bastante intrusiva, por aplicação externa do filme piezoelétrico, o qual pode causar desconforto ou obrigar a artifícios de *design* para melhor se dissimular a sua presença na peça têxtil. O elemento piezoelétrico surge como uma adição à peça de vestuário, não sendo parte integrante do material têxtil, como será possível com o filamento produzido pela presente invenção.

No segundo caso, propõe-se uma estrutura que, apesar de ser um entrançado típico de um têxtil, não apresentará no produto final as propriedades típicas dos materiais têxteis em termos

de cair, flexibilidade e formabilidade, por ser composto por fitas em vez de fios. Para além disso, em termos práticos a tecelagem de fitas levanta inúmeros problemas técnicos (como por exemplo a dificuldade em evitar a torção das mesmas) que não surgem com filamentos.

A presente invenção consiste num processo para a produção de um filamento piezoelétrico através da utilização de polímeros piezoelétricos e polímeros condutores para produzir um filamento recorrendo a tecnologia convencional de co-extrusão, complementada com passos adicionais que conferem ao filamento as propriedades específicas dos materiais piezoelétricos. Deste modo, asseguram-se características que possibilitam o seu processamento e integração no produto têxtil final através de processos bem-dominados, tais como a tecelagem, a tricotagem ou a costura. Os monofilamentos produzidos são semelhantes a alguns tipos de filamento utilizados nos produtos têxteis, tais como monofilamentos de poliamida, polipropileno, poliéster e outros. Eles apresentam flexibilidade e resistência mecânica suficiente para serem submetidos aos processos têxteis convencionais. Adicionalmente poderão, dentro de limitações, ser acrescentadas camadas que lhe confirmam propriedades mais próximas ainda do têxtil comum, tal como um toque agradável, possibilidade de tingimento, pilosidade etc.

No que diz respeito a geometrias do tipo filamentar, mais próximas do fio têxtil, existem também diversas propostas, que no entanto, ou não garantem o carácter "têxtil" anteriormente descrito, ou utilizam processos de produção complexos, tais como metalização sequencial ou lacagem.

O documento de patente US005135295A, "Fiber-optic piezoelectric devices", descreve fibras ópticas com propriedades piezoelétricas. O material proposto para a realização do componente piezoelétrico é o PZT, um material que apresenta os problemas de processamento têxtil já expostos anteriormente.

O documento de patente US7047800B2 descreve fibras cerâmicas com alma metálica. A aplicação preferida das mesmas é neste caso a geração de energia eléctrica em pneus de automóvel. Os autores propõem uma estrutura equivalente à que é produzida pelo processo proposto no corrente documento, no entanto, os materiais utilizados, bem como o processo, são completamente distintos. A denominada "fibra" é composta por um eléctrodo interior, metálico, uma camada de material piezoelétrico e uma camada metálica condutiva no exterior, formando o segundo eléctrodo. O documento especifica vários materiais como possíveis constituintes da camada piezoelétrica, desde materiais cerâmicos, cristais, ou polímeros piezoelétricos. Em relação aos processos de produção e à constituição do eléctrodo exterior, as indicações são também muito abrangentes, sendo considerados co-extrusão, lacagem, deposição, e outros, com vários materiais condutores, tais como paládio, níquel, cobre, alumínio e outros.

Apesar de abrangente, a solução descrita não apresenta as características da presente proposta, tanto em termos de propriedades do produto final, como na viabilidade para a produção à escala industrial.

No que diz respeito ao produto final, o facto de se utilizarem eléctrodos metálicos vem reduzir no produto a flexibilidade

mecânica e possibilidade de posterior processamento em máquinas têxteis, que é expedita com filamentos poliméricos. Analisando os processos de produção propostos, pode também verificar-se que estes são mais difíceis de controlar, já que se estão sempre a combinar materiais de natureza muito distinta. Na co-extrusão, por exemplo, o processo beneficia de uma temperatura elevada ($>300^{\circ}\text{C}$) no que respeita à extrusão dos metais, mas essa temperatura é excessiva para extrusão e activação piezoelétrica de PVDF, pois promoveria a degradação térmica do material; por outro lado, se for utilizado um processo de deposição, torna-se difícil de proceder à estiragem dos materiais para respectiva activação piezoelétrica.

Na solução proposta, são utilizados materiais diferentes, mas todos poliméricos, que possuem parâmetros de processamento muito semelhantes, e são facilmente estiráveis em linha no processo produtivo.

O documento de patente JP2002266154 respeita a um processo de extrusão de filamentos com propriedades piezoelétricas, mas difere da presente invenção em dois aspectos fundamentais. Por um lado, o processo descrito foi desenhado para produzir um filamento a partir de um material polimérico misturado com partículas com as propriedades desejadas para o produto final (que poderão ser diversas). Na presente invenção, utiliza-se um polímero que é intrinsecamente piezoelétrico e que não necessita, por isso de ser misturado com nenhum outro componente.

Por outro lado, para que o filamento se torne funcional no respeitante à sua propriedade piezoelétrica, isto é, para que seja possível ligá-lo aos circuitos apropriados, é necessário utilizar eléctrodos, colocados em ambos os lados do material

piezoelétrico. Este procedimento fundamental não está descrito, pelo que se pressupõe que os eléctrodos seriam impressos ou depositados posteriormente. Assim sendo, só será possível criar eléctrodos no exterior do filamento. Isso é viável através do processo de agrupamento também utilizado no documento JP2003033050, e cujas características e desvantagens já foram anteriormente detalhadas. O filamento têxtil descrito na presente invenção é composto por diversas camadas de materiais distintos, mas que podem estar dispostas em camadas coaxiais, permitindo assim ao filamento ser funcional em qualquer posição e direcção de estimulação mecânica

A patente JP2000144545 descreve um filamento piezoelétrico obtido através da utilização de misturas de materiais, onde um dos componentes é um material com propriedades piezoelétricas, e de um processo em que o material é torcido, para que se torne sensível a esforços no sentido axial. O texto reivindica o processo de torção, não referindo o aspecto fundamental no que respeita à corrente análise -a forma como é obtido o fio piezoelétrico - limitando-se a afirmar que ele é desenrolado de um tubo de fio. Para além disso, na presente proposta o filamento não é torcido, sendo a forma de polarização do material piezoelétrico que determina em que direcção(ões) o filamento é sensível, enquanto que no caso apresentado a sensibilidade pretende-se que seja exclusivamente no sentido axial.

O documento de patente EP 1507040A1 descreve um filamento piezoelétrico com estrutura equivalente à estrutura aqui proposta. O filamento baseia-se num núcleo estrutural sobre o qual é depositado, por metalização e/ou lacagem, um eléctrodo, posteriormente uma camada piezoelétrica, outro eléctrodo, e camadas com função de isolamento eléctrico e protecção contra humidade. No entanto, este é produzido através de processos

sequenciais de metalização/deposição/lacagem. Este método torna o processo bastante complexo e dispendioso quando no contexto da produção industrial contínua de filamentos têxteis.

Acresce ainda o facto de se utilizar um filamento estrutural para o filamento que, na presente proposta, é inexistente, pois a estrutura do filamento é constituída pelas próprias camadas funcionais do filamento, suficientemente resistentes para o efeito, como se verificou já nos protótipos produzidos. Poupa-se assim a produção de uma camada, sendo possível tornar o processo menos complexo e conseqüentemente mais económico e fácil de controlar.

O documento de patente US4303733 descreve também filamentos multicamada funcionando como condensadores ou como sensores piezoelétricos. Diversas estruturas para tais filamentos são descritas e reivindicadas, no entanto, as camadas condutoras são obtidas por deposição química e/ou electrodeposição. A metodologia de fabrico proposta mostra-se adequada para a produção de protótipos funcionais somente à escala laboratorial, pois é constituída por um conjunto de operações sequenciais, desfasadas no tempo e aplicadas em equipamentos distintos. Em conseqüência, há limitações substanciais à cadência de produção e à sua aplicação à escala industrial, que requer a produção de quantidades apreciáveis. Nesta proposta está omissa, também, a referência a passos de processamento fundamentais tais como a obtenção do material em fase cristalina adequada.

A patente US4609845 descreve uma estrutura equivalente à que os anteriores documentos de patente expõem. Neste caso, é proposta a co-extrusão das camadas condutora interior e piezoelétrica. A estiragem, criação da camada condutora exterior e a polarização eléctrica são conseguidas em estágios posteriores, desfasados no tempo, e que conseqüentemente

apresenta as mesmas limitações da patente US4303733, no que concerne à sua aplicação à escala industrial. Contudo, não está indicado o elemento essencial do método para aplicar o campo eléctrico durante um período de tempo prolongado.

Finalmente, a patente US4688306 apresenta uma estrutura de filamento obtida por processo de co-extrusão ou extrusão sequencial. É referido que a polarização pode ser feita durante a estiragem, o que leva a interpretar que esta é feita em linha. No entanto, refere-se também que existe um tempo de polarização de alguns minutos a meia hora, sendo omissa a forma como o filamento pode ser mantida num campo eléctrico durante esse tempo, quando produzido em linha, sendo este um aspecto fundamental da proposta actual.

A presente invenção consiste num conjunto de operações sequenciais e ininterruptas, ou seja, passíveis de serem aplicadas em linha, o que permite produzir continuamente o filamento com propriedades piezoeléctricas num só estágio de produção, de uma forma simples, tecnicamente dominada e mais económica, dadas as elevadas cadências de produção que podem ser alcançadas. Adicionalmente a abordagem proposta permitirá obter filamentos com melhor desempenho mecânico, pois ao contrário das invenções anteriormente apresentadas não implica a realização de diversos ciclos térmicos que podem danificar algumas das propriedades induzidas em estágios anteriores. A operação de estiramento, incluída no processo, será feita a temperatura controlada, e permitirá não só a fase cristalina do material piezoeléctrico, mas promove também uma orientação molecular do material polimérico que confere ao filamento propriedades mecânicas melhoradas a nível de flexibilidade, elasticidade e resistência. Adicionalmente, é também possível fazer a polarização do filamento em linha, por estar o mesmo em condições bem controladas de estiramento e temperatura que permitem a optimização da resposta piezoeléctrica final do

material, através da orientação com o campo eléctrico aplicado dos dipolos da fase cristalina β do material, inicialmente orientados de forma aleatória. Uma das vantagens deste processo de polarização é a possibilidade de aplicar o campo eléctrico durante um período de tempo prolongado através do sistema de recirculação do filamento.

Nenhuma das propostas baseadas em processos de metalização/lacagem/impregnação apresentadas até então, que são compostas por um conjunto de operações sequenciais mas desfasadas no tempo, e com limitações óbvias para a aplicação à escala industrial, apresenta estas características.

Em relação às propostas que mencionam co-extrusão, não está apresentado o elemento essencial do método para aplicar o campo eléctrico durante um período de tempo prolongado, resolvido pela presente invenção.

DESCRIÇÃO GERAL DA INVENÇÃO

A presente invenção consiste num novo processo de fabrico de filamentos têxteis com propriedades piezoeléctricas baseado em processos convencionais de co-extrusão.

Para a produção dos filamentos, são utilizadas tantas extrusoras quantas camadas o filamento deverá ter no final. Tipicamente, existirão 3 extrusoras: Uma para extrudir as duas camadas condutoras, uma para extrudir a camada piezoeléctrica e uma para extrudir a camada de isolamento exterior.

Os filamentos piezoeléctricos têm como aplicação principal a utilização como sensores mecânicos, transformando estímulos mecânicos em sinais eléctricos. Considerando que o efeito inverso também se verifica, em outros casos os filamentos poderão ser aplicados como actuadores.

O filamento piezoelétrico baseia-se fundamentalmente em materiais poliméricos condutores, isolantes e materiais poliméricos piezoactivos. No processo, os filamentos são produzidos de forma a incluírem os seguintes componentes: Eléctrodos, dielétrico piezoactivo e camada isolante, sendo este o núcleo funcional do filamento, presente em todas as estruturas.

A camada piezoelétrica gera um sinal eléctrico em função do estímulo mecânico e vice-versa. Os eléctrodos servem para receber esse sinal e transmiti-lo para o sistema de condicionamento de sinal acoplado; quando o filamento é utilizado como actuador, os eléctrodos servem para o estímulo eléctrico poder ser aplicado à camada piezoelétrica, que gerará a resposta mecânica. A camada isolante proporciona o necessário isolamento eléctrico, tendo apenas uma função prática, pois o princípio de funcionamento não é por ele afectado. Esta camada poderá posteriormente ser funcionalizada para ter características de toque, cor, etc apropriadas para as diferentes aplicações.

As diferentes geometrias dos filamentos bem como a direcção da sua polarização eléctrica determinam as direcções em que os filamentos são sensíveis à estimulação mecânica ou, na perspectiva de actuador, geram o trabalho mecânico em resposta a um estímulo eléctrico. A geometria mais importante é a coaxial simétrica com polarização radial. Na aplicação como sensor, esta geometria é sensível a estímulos de compressão/extensão na direcção radial, sendo essa reacção igual em todas as direcções radiais. Será esta geometria a preferida para utilização em estruturas têxteis, em que os filamentos são inseridos numa posição angular aleatória. Não são, no entanto, de excluir as referidas geometrias

alternativas ou a polarização paralela, em que o filamento apresenta sensibilidades diferenciadas em função da direcção do estímulo, seja para detectar essa mesma direcção, seja para maximizar a resposta do filamento quando a direcção de estímulo é conhecida *à priori*.

A camada piezoactiva é tipicamente produzida em PVDF-poli(fluoreto de vinilideno) - e é colocada entre duas camadas electricamente condutoras (produzidas por exemplo, pela mistura de materiais condutores, tais como o "carbon black", com polímeros convencionais) Tal como já referido, as camadas condutoras (1,3) funcionam como eléctrodos, permitindo fazer a ligação eléctrica para a medição dos potenciais eléctricos que são gerados pela camada piezoactiva. Para efeitos práticos, o filamento deve ser completado com uma camada de isolamento eléctrico(4). Adicionalmente, podem ainda ser acrescentada(s) camada(s) destinada(s) a proporcionar ao filamento estabilidade estrutural, protecção mecânica, um toque diferente ou a possibilidade de ser tingido (5, 6).

Durante a sua produção, o filamento é sujeito a um processo de polarização através da aplicação de campos eléctricos forte na camada piezoactiva, que permite conferir ao dieléctrico as suas propriedades piezoeléctricas.

Esta invenção apresenta como principais inovações

- a utilização de um processo industrial convencional bem dominado, para a produção de um novo produto, de forma contínua e económica;
- a produção de um filamento flexível e mecanicamente apto para ser posteriormente processado em processos têxteis convencionais, de modo a ser completamente integrado em produtos têxteis, sem excluir outras possíveis aplicações.

O processo permitirá obter um filamento que fornece um sinal eléctrico em resposta a um estímulo mecânico que lhe seja aplicado (sensor), ou fornecerá um estímulo mecânico em função de um sinal eléctrico que lhe seja aplicado (actuador).

Será possível aplicar estes materiais em produtos que utilizem sensores ou actuadores mecânicos, particularmente naqueles em que sejam necessários sensores com propriedades afins aos materiais têxteis (flexíveis), em forma de filamento ou tecido, perfeitamente integrados no material têxtil e capaz de se adaptar a uma forma plana ou tridimensional qualquer. As aplicações para este tipo de materiais são diversas e deverão ser divididas em duas categorias principais: utilização como sensor ou utilização como actuador. Como sensor, o filamento pode ser usado, entre outros, para a medida de forças dinâmicas, vibração, impacto, detecção e medida de movimento, captação de som, etc). As aplicações podem ser na monitorização de sinais vitais e movimentos (detecção de actividade física, medida de taxa respiratória, caracterização de movimentos desportivos, detecção de quedas e choques, etc). Como actuador, o filamento, quando integrado em têxteis, pode ser utilizado como estimulador mecânico para fins terapêuticos, como sinalizador por vibração ou, em estruturas mais complexas, como *display* táctil. Será ainda possível a auto-limpeza dos tecidos através de vibração mecânica a alta frequência ou a geração de som com aplicação de sinais a frequências audíveis. As possibilidades de aplicação destes filamentos não se esgotam no exposto anteriormente, existindo inúmeras áreas adicionais de potenciais de aplicação para estes sensores e actuadores flexíveis ou tecidos em que eles se integram.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Figura 1: Filamento em monofilamento constituído por duas camadas electricamente condutoras (1,3), um dieléctrico com propriedades piezoeléctricas(2) e uma camada isolante eléctrica (4);

Figura 2: Filamento em monofilamento constituído por uma camada interior de reforço estrutural (5), duas camadas electricamente condutoras (1,3), um dieléctrico com propriedades piezoeléctricas(2), uma camada isolante eléctrica (4) e/ou uma camada exterior funcional (6);

Figura 3: Fio com dois filamentos, sendo o primeiro (7) constituído conforme descrito na figura 1 ou figura 2, e sendo o segundo (8) um filamento de qualquer material;

Figura 4: Processo de produção do filamento piezoeléctrico com Extrusora para extrusão multicamadas (9), banho de arrefecimento (10), sistema de rolos 1 (11), sistema de aquecimento controlado (12), sistema de rolos 2 (13), sistema de aquecimento 2 (14), sistema de recirculação do filamento (15), sistema de polarização eléctrica (16), extrusora 2 (17), banho de arrefecimento 2 (18) e bobinadora (19)

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Dependendo da aplicação final do filamento, este poderá ser construído de diversas formas.

As funções do filamento são as de transdutor, transformando estímulos mecânicos em sinais eléctricos ou vice-versa. Para tal, é introduzida no filamento a propriedade piezoeléctrica

Os filamentos poderão ser constituídos por um ou vários cabos, sendo apenas um deles activo. No caso de um filamento com mais do que um cabo, procede-se a uma operação de torção cujo objectivo único é proporcionar ao fio, obtido através da torção dos dois cabos, características mecânicas ainda mais próximas de fios têxteis vulgares - os filamentos adicionais asseguram a resistência mecânica do filamento tanto no processo de torção, operação que facilita o processamento têxtil posterior do filamento, como em serviço.

Podem distinguir-se duas estruturas básicas para o filamento: na primeira, o filamento é constituído por camadas coaxiais, compreendendo no mínimo (do interior para o seu exterior, na direcção radial):

- uma camada de material electrocondutor (1);
- uma camada de material piezoeléctrico (2);
- Uma camada de material electrocondutor (3);
- Uma camada de isolamento eléctrico (4).

Esta configuração está ilustrada na Figura 1.

Na segunda configuração, produz-se um fio com dois filamentos torcidos.

O primeiro filamento (7) é constituído conforme apresentado na figura 1. O segundo filamento (8) é de qualquer material adequado para ser torcido com o filamento electroactivo, conferindo ao filamento características vantajosas para o seu serviço, tais como elasticidade (por torção do filamento), possibilidade de ser tingido, resistência mecânica, etc.

Conforme as solicitações mecânicas a que o filamento estará sujeito nos processos a montante ou na sua utilização, os

cabos poderão, ainda, incorporar camadas destinadas a funcionalizar o filamento, por exemplo para garantir uma resistência mecânica adequada, conservação, toque ou cor. Estas camadas poderão ser interiores, tipicamente a primeira ("alma") para reforço estrutural ou a camada exterior, para a protecção. Uma das possibilidades está representada na Figura 2.

PROCESSOS DE PRODUÇÃO

O processo de extrusão permite colocar em linha e de forma integrada todas as operações necessárias à produção do filamento têxtil piezoelétrico. Deste modo, será possível produzir em contínuo o filamento com propriedades desejadas.

A configuração exacta do processo produtivo dependerá do nº de camadas que se pretende utilizar, podendo ser descrito como segue:

Conforme ilustrado na Figura 5, a produção do filamento é composta pelas seguintes etapas:

- 1) Produção no sistema de extrusão 1 (9), composto por um número de extrusoras conforme o número de materiais diferentes que se pretendem extrudir em simultâneo, tipicamente dois, de filamento em camadas (tipicamente três);
- 2) Arrefecimento até à temperatura ambiente do filamento proveniente do sistema de extrusão no banho 1 (10);
- 3) Passagem pelo sistema de rolos 1 (11), o qual define a velocidade linear de produção do filamento;
- 4) Aquecimento controlado do material a uma temperatura entre 70 e 110°C, preferencialmente por volta dos 80 °C, de forma a otimizar a mobilidade molecular (12).

5) Passagem pelo sistema de rolos 2 (13), que deve impor a taxa de estiramento adequada. Deste modo, a velocidade linear deste sistema de rolos deve ser superior à imposta no sistema de rolos 1 (11). A taxa de estiramento necessária para a transformação da fase cristalina fundamental para obtenção das propriedades piezoeléctricas apropriadas para utilização prática é entre 3 e 7, sendo preferencialmente 4, e durante o estiramento é imposto ao filamento uma temperatura entre 70 e 110 °C, sendo preferencialmente de 80 °C, dependendo do lote específico de PVDF, por aquecimento, temperatura à qual, em combinação com a estiragem, se obtém a máxima quantidade de fase cristalina necessária para a actividade piezoeléctrica do material;

6) Re-aquecimento controlado do material a uma temperatura entre 50 e 90°C, preferencialmente por volta dos 80 °C, de forma a otimizar a mobilidade molecular sem produzir transformação de fase e permitir uma activação mais fácil do material piezoeléctrico(14).

7) Activação do material com propriedades piezoeléctricas pela actuação de um campo eléctrico (16). A activação será realizada pela aplicação de campos eléctricos entre 10 e 200 MV/m, sendo os campos entre 100 e 120 MV/m os mais apropriados. A polarização é realizada pelo método de contacto caso o eléctrodo exterior esteja já extrudido: uma ligação de alta voltagem é realizada no eléctrodo exterior enquanto que o eléctrodo interior é ligado à terra. O filamento é arrefecido no campo eléctrico de forma a manter a orientação dipolar, através da sua recirculação em (15). O sistema de recirculação poderá ser duplicado de modo a que o filamento possa ser mantido a uma determinada temperatura no campo eléctrico numa

primeira fase de recirculação, sendo depois numa segunda fase de recirculação arrefecido ainda no campo eléctrico.

O tempo de polarização pode também ser aumentado em linha, caso seja necessário, através do sistema de recirculação do filamento na zona de polarização (15), mas em casos em que a espessura dos filamentos exija um tempo de polarização que torne a recirculação inviável, o processo de polarização pode ocorrer posteriormente.

8) Passagem opcional por um sistema de extrusão (17) que deverá depositar a camada funcional exterior do filamento, ou outras camadas;

9) Arrefecimento até à temperatura ambiente da camada superficial depositada no passo anterior, por passagem no banho 2 (18);

10) Enrolamento do filamento piezoeléctrico produzido pelo enrolador (19).

Os processos de extrusão individuais poderão ser interrompidos periodicamente para proporcionar mais fácil acesso às camadas interiores do filamento, com o propósito de se estabelecerem ligações eléctricas. Poderá, por exemplo, interromper-se a extrusão do eléctrodo exterior e do núcleo de polímero piezoeléctrico para que se consiga expor o eléctrodo interior e assim conseguir mais fácil ligação eléctrica.

MATERIAIS A UTILIZAR

O procedimento anteriormente descrito pode ser implementado utilizando uma grande variedade de materiais.

A camada piezoelétrica será constituída preferencialmente por polímeros, co-polímeros, misturas ou compósitos da família do poli(fluoreto de vinilideno), PVDF, podendo ser utilizados outros polímeros piezoelétricos.

As camadas condutoras podem ser constituídas por polímeros electrocondutores, como por exemplo o PEDOT (Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate), a polianilina ou polímeros convencionais (como por exemplo Polipropileno, Polietileno, entre outros) com adição de partículas condutoras (como por exemplo Prata, Ouro, Negro de fumo, entre outros).

A camada isolante poderá ser constituída por PVC, poliéster, poliamida, entre outros polímeros isolantes eléctricos cujos parâmetros de processamento e propriedades mecânicas finais sejam compatíveis com a aplicação.

As camadas de reforço interior e funcional exterior podem ser constituídas por materiais de aplicação têxtil, tal como poliéster, poliamida, viscose, aramidas, carbono ou outros cujos parâmetros de processamento e propriedades mecânicas finais sejam compatíveis com a aplicação, e conforme a função desejada, que poderá ser de reforço, de protecção mecânica, estética, conferindo toque, cor, entre outras.

Referências

- [1] Joshua Edmison, Mark Jones, Zahi Nakad, and Thomas. Martin., Using piezoelectric materials for wearable electronic textiles. In Proceedings of the Sixth International Symposium on Wearable Computing, pp 41-48. ISWC 2002, 2002.

- [2] Thomas Martin, Mark Jones, Joshua Edmison, Tanwir Sheikh, Zahi Nakad, Modeling and Simulating Electronic Textile Applications, Proceedings of the conference on Languages, Compilers, and Tools for Embedded Systems, LCTES'04, June 11-13, pp 10-19, 2004, Washington, DC, USA

- [3] Joshua Edmison, David Lehn, Mark Jones, and Thomas Martin, E-Textile Based Automatic Activity Diary for Medical Annotation and Analysis, Proceedings of the International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06), 2006, IEEE

- [4] Wetherhold, R.e. et al., "Piezoelectric PZT/epoxy composites for sensing and actuating torsional motion", Proceedings of SPIE Smart Structures and Materials Conference, vol.1916, pp. 266-274, Albuquerque, NM, Feb. 1993.

Braga, 09 de Junho de 2010

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de obtenção de filamentos poliméricos piezoelétricos caracterizado por os seguintes passos serem efectuados em linha e em contínuo:

a) Colocação dos materiais no sistema de extrusão composto por um número de extrusoras conforme o número de materiais a extrudir;

b) Arrefecimento do filamento proveniente do sistema de extrusão no banho 1 (10) até à temperatura ambiente;

c) Colocação do filamento no sistema de rolos 1 (11);

d) Aquecimento controlado do filamento até uma temperatura entre 70 e 110°C, de forma a otimizar a mobilidade molecular (12);

e) Estiramento do filamento pelo sistema de rolos 2 (13) com uma taxa de estiramento entre 3 e 7, e simultaneamente imposição de uma temperatura entre 70 e 110 °C;

f) Re-aquecimento controlado do filamento a uma temperatura entre 50 e 90°C de forma a otimizar a mobilidade molecular sem produzir transformação de fase e permitir uma activação mais fácil do material piezoelétrico(14);

g) Activação do filamento com propriedades piezoelétricas por polarização, pela actuação de um campo eléctrico (16) entre 10 e 200 MV/m;

h) O filamento é arrefecido no campo eléctrico de forma a manter a orientação dipolar, através da sua recirculação no sistema de recirculação(15);

i) Arrefecimento final até à temperatura ambiente da camada superficial depositada no passo anterior, por passagem no banho 2 (18);

j) Enrolamento do filamento produzido pelo enrolador (19).

2 - Processo, de acordo com a reivindicação anterior, caracterizado por, opcionalmente, a activação do filamento com propriedades piezoeléctricas por polarização ser mantido no sistema de recirculação.

3 - Processo, de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado por a taxa de estiramento ser preferencialmente 4.

4 - Processo, de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado por a temperatura de aquecimento ser preferencialmente 80°C.

5 - Processo, de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado por o campo eléctrico ser preferencialmente entre 100 e 200MV/m.

6 - Processo, de acordo com a reivindicação anterior, caracterizado por a ligação de alta voltagem ser realizada no eléctrodo exterior enquanto que o eléctrodo interior é ligado à terra.

7 - Processo, de acordo com as reivindicações 1 a 6, caracterizado por opcionalmente se colocar outro sistema de extrusão após o campo eléctrico.

8 - Fio torcido polimérico piezoléctrico obtido pelo processo conforme indicado nas reivindicações 1 a 7, caracterizado por

alternativamente conter dois filamentos torcidos, sendo um deles electroactivo e o outro possuir uma função estrutural.

9 - Aplicação do filamento polimérico piezolétrico , conforme descrito nas reivindicações 1 a 8, caracterizado por ser preferencialmente aplicado em têxteis.

Braga, 09 de Junho de 2011

DESENHOS

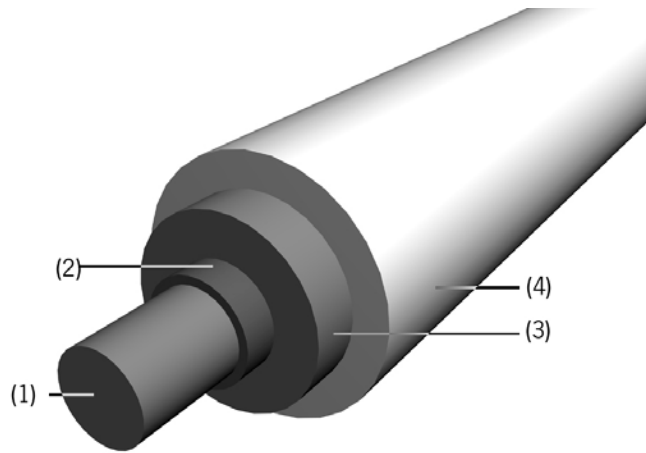


Figura 1

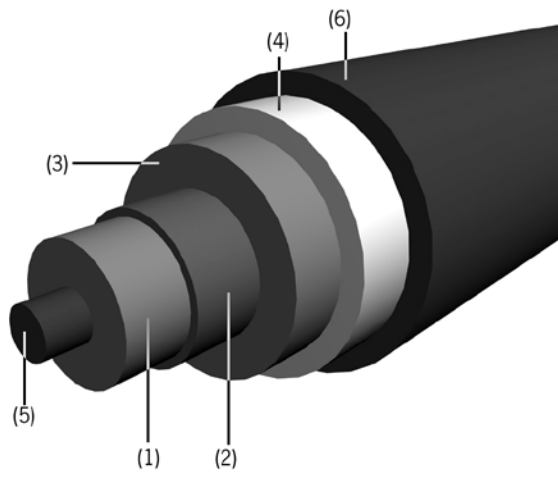


Figura 2

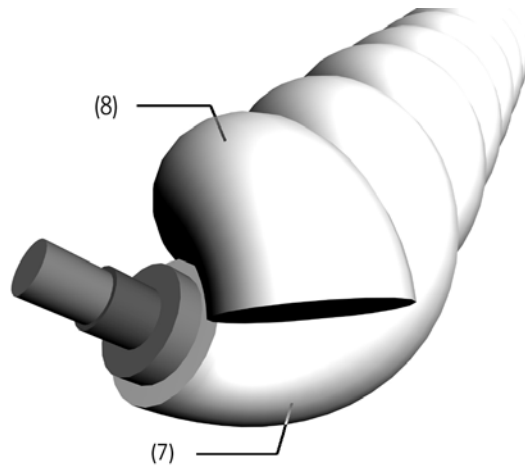


Figura 3

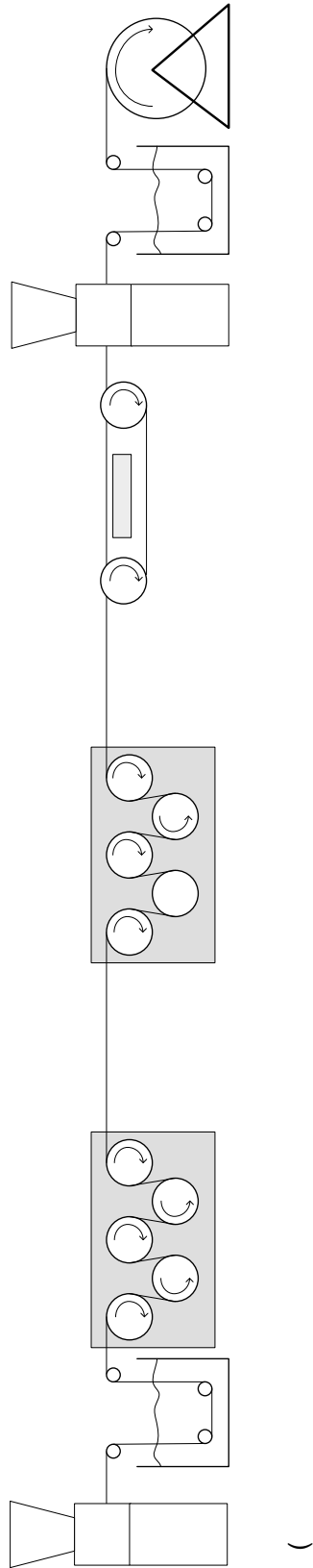


Figura 4