



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102016017237-3

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102016017237-3

(22) Data do Depósito: 25/07/2016

(43) Data da Publicação Nacional: 06/02/2018

(51) Classificação Internacional: G01R 33/18; C22C 38/10.

(54) Título: MÉTODO DE TRATAMENTO TERMOMAGNÉTICO EM FITA AMORFA, USO DE FITA AMORFA E SISTEMA DE DETECÇÃO DE DEFORMAÇÃO EM SUBSTRATO

(73) Titular: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 88648761000103. Endereço: RUA FRANCISCO GETÚLIO VARGAS, 1130, Caxias do Sul, RS, BRASIL(BR), 95070-560, Brasileira

(72) Inventor: ALESSANDRO DALPONTE; EDUARDO STIMAMIGLIO BASTOS; FRANK PATRICK MISSELL.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 25/07/2016, observadas as condições legais

Expedida em: 14/03/2023

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

MÉTODO DE TRATAMENTO TERMOMAGNÉTICO EM FITA AMORFA, USO DE FITA AMORFA E SISTEMA DE DETECÇÃO DE DEFORMAÇÃO EM SUBSTRATO

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve um método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoriamento, um uso de fita amorfa para sensoriamento de deformação em risers e sistema de detecção de deformação utilizando uma fita amorfa tratada. A presente invenção se aplica nas áreas de Engenharia Mecânica, Engenharia Naval e Engenharia do Petróleo, mais especificamente nos campos de detecção de deformação.

Antecedentes da Invenção

[0002] Um riser de produção geralmente é usado para transporte de petróleo do fundo do mar à superfície. Depois que o equipamento de perfuração já encontrou o petróleo, um cano flexível, denominado riser é usado para trazer o produto do fundo do mar. A integridade dos risers flexíveis de produção é de extrema importância durante a operação de transportar petróleo à superfície, mas corrosões e deformações nos dutos podem causar complicações durante o procedimento e acarretar em altos gastos com manutenção se houver a ruptura de um riser.

[0003] O interesse no monitoramento da integridade estrutural de risers flexíveis tem crescido significativamente nos últimos anos. Sistemas de monitoramento podem fornecer alertas antecipados de possíveis falhas e também auxiliar o operador na programação de paradas para manutenção.

[0004] Algumas destas técnicas já estão sendo implementadas em unidades de exploração e produção marítimas no Brasil e em outros países. A presente contribuição aborda o monitoramento contínuo e em tempo real utilizando sensores magnetoelásticos para detectar a ruptura dos arames nas armaduras de tração de risers flexíveis.

[0005] O sensoriamento wireless vem sendo explorado para sensoriamento de deformação de dutos. Contudo, os sensores utilizados possuem baixa sensibilidade à deformação, o que pode acarretar em uma falha na detecção da deformação ou em uma detecção tardia de uma deformação já avançada. Assim, alguns métodos estão sendo desenvolvidos com intuito de aprimorar a sensibilidade do sistema, como por exemplo, utilização de novos materiais ou aprimoramento de materiais já utilizados em técnicas anteriores, onde os materiais já utilizados no sensoriamento sofrem um tratamento específico que permite melhorar os resultados obtidos e as leituras realizadas.

[0006] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[0007] O documento US5469140 revela um método de tratamento termomagnético em fitas amorfas para utilização como marcador para um sistema de vigilância eletrônica. Contudo o tratamento térmico utilizando o campo magnético para a indução de anisotropia mencionada é lento, por este motivo o tratamento térmico utilizado geralmente pela indústria para o mesmo fim é o tratamento térmico sob tensão, que é um processo mais rápido e operável de forma contínua.

[0008] O documento "The Influence of Thermomagnetic Treatment on the Magnetoelastic Characteristics of Fe₆₁Co₁₉Si₅B₁₅ Amorphous Alloys" publicado em 2015 consiste em um artigo que revela a influência de tratamento termomagnético nas características magnetoelásticas do Fe₆₁Co₁₉Si₅B₁. Um núcleo composto por Fe₆₁Co₁₉Si₅B₁, submetido a um recozimento em 410°C em uma densidade de fluxo magnético de 0.3T, apresentou sensibilidade magnetoelástica com um aumento de 60,5% após o tratamento. Entretanto o tratamento magnético proposto é executado para construção de um sensor de compressão que utiliza fios para comunicação. Dessa forma, o sensor a ser construído seria aplicado apenas em ocasiões que permitissem a passagem desses fios.

[0009] Os sensores wireless aplicados para medição de deformação de dutos conhecidos apresentam baixa sensibilidade o que pode acarretar em uma falha na detecção ou detecção tardia da deformação.

[0010] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

Sumário da Invenção

[0011] Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes no estado da técnica a partir de um método de tratamento termomagnético em uma fita amorfa para sensoriamento de deformação e a utilização da dita fita amorfa tratada no sensoriamento de deformação de tiras de aços compreendidas em um riser.

[0012] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoriamento de deformação em risers compreendendo as etapas de:

- a. posicionamento de uma fita amorfa (F) não recozida em um compartimento (C) pressurizado a ao máximo 1 Torr;
- b. aquecimento do dito compartimento (C) a uma faixa temperatura entre 250°C e 350°C;
- c. aplicação de um campo magnético transversal (H), com intensidade de campo magnético de ao menos 500 Oe no plano da fita amorfa (F), no dito compartimento (C);
- d. recozimento da fita amorfa (F) por um período entre 15 a 90 minutos; e
- e. resfriamento da fita amorfa (F).

[0013] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um uso de fita amorfa para sensoriamento em risers, em que a fita amorfa (F) é tratada de acordo com o método acima definido e, ainda, a dita fita amorfa (F) permite:

- a. ser utilizada como transdutor em um sensor de deformação;

- b. ser utilizada como ressonador em um sensor de deformação; ou
- c. ser utilizada como transdutor e como ressonador em um sensor de deformação.

[0014] Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta um sistema de detecção de deformação em substrato compreendendo ao menos:

- a. uma primeira fita amorfa (F1) e uma segunda fita amorfa (F2);
- b. uma bobina planar (BP);
- c. um substrato (1);
- d. um circuito de instrumentação;

em que,

- as fitas amorfas (F1 e F2) são tratadas de acordo com o método de tratamento termomagnético definido nas reivindicações 1 a 8;
- a primeira fita amorfa (F1) é colada no substrato (1);
- a segunda fita amorfa (F2) é disposta sobre a primeira fita amorfa (F1);
- a bobina planar (BP) é disposta paralelamente à segunda fita amorfa (F2);
- o circuito de instrumentação é associado à bobina planar (BP).

[0015] Ainda, o conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados consiste em um tratamento termomagnético em uma fita amorfa para sensoriamento de um substrato propiciando um aumento no desempenho de um sensor utilizando a fita amorfa tratada como transdutora e/ou ressonadora.

[0016] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0017] São apresentadas as seguintes figuras:

[0018] A figura 1 mostra uma representação esquemática de um sensor de deformação baseado no efeito ΔE . Onde, um substrato (1) é submetido a uma

tensão (σ), e possui um transdutor (F1) associado ao mesmo. Um campo magnético de polarização (H_0) que determina o ponto de operação na curva ΔE do ressonador (F2). O campo magnético marginal (H_1) gerado pelo transdutor, representando pela primeira fita amorfa (F1), modifica o ponto de operação do ressonador, representado pela segunda fita amorfa (F2). A medição da frequência de ressonância do ressonador permite a obtenção de informação sobre a deformação ocorrida.

[0019] A figura 2 mostra um gráfico da variação da frequência (Δf) em kHz pelo campo magnético aplicado em Oersteds.

[0020] A figura 3 mostra um gráfico da variação da frequência (Δf) em kHz pela tensão em ppm nos materiais Metglas 2826 MB3 cru e recozido e na etiqueta EAS.

[0021] A figura 4 mostra um gráfico da variação da frequência (Δf) em kHz pela tensão em ppm nos materiais Metglas 2826 MB3, 1k501, Vitrovac 7600 e de uma etiqueta EAS.

[0022] A figura 5 mostra um esquema do sensoriamento de deformação em um riser, na qual a fita amorfa (F) tratada é posicionada em um substrato (1) e uma bobina planar (BP) é posicionada para detecção da deformação.

[0023] A figura 6 mostra a fita amorfa (F) posicionada no compartimento (C) e submetida ao campo magnético transversal (H).

Descrição Detalhada da Invenção

[0024] As descrições que se seguem são apresentadas a título de exemplo e não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

[0025] Em um primeiro objeto a presente invenção apresenta um método tratamento termomagnético para sensoriamento em risers. Primeiramente, uma fita amorfa (F), não recozida, é posicionada em um compartimento (C), e em seguida é aplicado um campo magnético transversal no plano da fita amorfa (F). O campo magnético é aplicado sobre a fita amorfa (F) no compartimento (C). O

ar no compartimento é removido por meio de uma bomba mecânica. A fita amorfa (F), então, é recozida por um tempo determinado em certa temperatura. Em seguida, a fita amorfa (F) é resfriada para a utilização da mesma no sensoramento de deformação.

[0026] Em uma concretização, o compartimento é aquecido em torno de 315°C. O compartimento pode ser aquecido a uma faixa de temperatura entre 250°C e 350°C.

[0027] Em uma concretização, o campo magnético é aplicado no plano da posição da fita amorfa (F) no compartimento e é aplicado com intensidade de campo magnético de pelo menos 500 Oe.

[0028] Em uma concretização, o compartimento (C) é um forno, outra construção ou aparelho capaz de conservar calor em altas temperaturas.

[0029] Em uma concretização, o campo magnético é aplicado por meio de ímãs de Neodímio posicionados externamente ao compartimento ou qualquer outro elemento capaz de produzir uma intensidade de campo magnético transversal de pelo menos 500 Oe. Como pode ser visto na Figura 6 o campo magnético (H) é aplicado no plano da fita amorfa (F), atravessando o compartimento (C).

[0030] Em uma concretização, a pressão do compartimento é reduzida até em torno de 1 Torr por uma bomba mecânica mantendo a pressão constante ao longo do tratamento.

[0031] Em uma concretização, a fita amorfa (F) é composta (em massa) por $\text{Fe}_{45}\text{Ni}_{45}\text{Mo}_7\text{B}_3$. Por fita amorfa (F) entende-se uma fita constituída de material amorfo tal como Metglas.

[0032] A fita de Metglas apresenta um campo de anisotropia (H_A) relativamente baixo, permitindo sua utilização tanto como transdutor como ressonador de um sensor magnetoelástico.

[0033] Em uma concretização, a etapa de recozimento é executada por 30 minutos nas condições de temperatura e pressão previamente impostas no compartimento. Ainda, a dita etapa de recozimento pode ser feita dentro de um

período tempo de 15 a 90 minutos. Após o recozimento a fita resfriada no compartimento em temperatura ambiente sob baixa pressão e sob campo magnético para posterior utilização na fabricação de um sensor magneto-elástico.

[0034] O tratamento termomagnético descrito propicia uma diminuição no stress de fundição e um aumento na anisotropia do material. Por consequência, o tratamento termomagnético mencionado propicia uma melhoria no desempenho dos sensores de deformação quando submetidos a um campo acima do campo de anisotropia (H_A).

[0035] Em uma concretização usando uma fita amorfa (F) de Metglas 2826MB3 com uma frequência de ressonância de 62 kHz, obtém-se uma variação na frequência de ressonância de aproximadamente 5 kHz para uma deformação de 0.03% de um substrato após o tratamento termomagnético descrito previamente quando submetido à 315°C em uma intensidade de campo magnético de 500 Oe e submetido à pressão de 1Torr por 30 minutos.

[0036] O dito tratamento termomagnético promove uma indução na anisotropia magnética do material e por consequência um aumento na variação da frequência de ressonância da fita amorfa.

[0037] A frequência mínima de ressonância (Δf), que é uma manifestação do efeito ΔE , após o recozimento da dita fita amorfa (F) se torna mais acentuada e nitidamente assimétrica.

[0038] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta o uso de fita amorfa para sensoriamento em risers, no qual as fitas amorfas (F1 e F2) são tratadas de acordo com o método de tratamento termomagnético previamente descrito. Desta forma, mais precisamente as ditas fitas amorfas (F1 e F2) são utilizadas para realizar o sensoriamento de deformação de tiras de aço de risers flexíveis, onde as mesmas são dispostas em contato com as tiras de aço do riser. Assim, as fitas amorfas (F1 e F2) permitem detectar as variações causadas por stress mecânico, devido uma alteração em seus parâmetros intrínsecos, mais especificamente a frequência de ressonância, no momento que ocorre a

deformação. A disposição das fitas amorfas (F1 e F2) pode ser exemplificada na figura 5.

[0039] Para a operação de detecção de stress mecânico, fitas amorfas (F1 e F2) tratadas podem ser utilizadas como transdutor ou ressonador na construção de um sensor de deformação.

[0040] Um sensor de deformação fabricado com transdutor e ressonador constituídos por fitas amorfas submetidas ao tratamento termomagnético mencionado apresenta uma sensibilidade superior à de sensores magneto-elásticos não tratados.

[0041] Tal aumento na sensibilidade é de extrema importância em aplicações que necessitam de um sensoriamento de alta qualidade sem a utilização de fios para envio de resposta, como o sensoriamento das deformações em fitas de aço de risers.

[0042] O dito sensor apresenta, ainda, a vantagem de efetuar o sensoriamento sem a necessidade de fios, enviando o sinal de deformação por meio da vibração na frequência de ressonância.

[0043] Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta um sistema de detecção de deformação em substrato compreendendo ao menos: duas fitas amorfas (F1 e F2) tratadas de acordo com o tratamento termomagnético previamente descrito, uma bobina planar (BP), um substrato (1) e um circuito de instrumentação.

[0044] A fim de monitorar a deformação de um substrato (1) uma primeira fita amorfa (F1) tratada é associada ao substrato, sendo colado na extensão do dito substrato(1). Uma bobina planar (BP) é posicionada a fim de detectar a frequência de ressonância de uma segunda fita amorfa (F2) em casos de deformação do substrato (1). Um circuito de instrumentação é associado à bobina planar (BP) de forma a receber o sinal referente à detecção de informação e enviá-lo.

[0045] Dessa forma, quando o substrato (1) se deforma, a fita amorfa (F) vibra em uma frequência de ressonância suficiente para a captação da mesma

pela bobina planar (BP). No caso de fitas amorfas não tratadas a variação na frequência de ressonância é baixa, o que ocasiona um baixo desempenho no sensoriamento, ou mesmo uma ineficiência da aplicação das ditas fitas no sensoriamento de deformação.

[0046] Assim, o circuito de instrumentação é configurado para detectar os sinais provindos da bobina planar (BP), onde estes sinais são associados à deformação do substrato (1), uma vez que são relacionados com a frequência de ressonância da fita amorfa (F) captada pela bobina planar (BP).

[0047] Em uma concretização, o dito substrato (1) é uma tira de aço pertencente a um riser de instalação de exploração petrolífera. Como pode ser visto na figura 5, as fitas amorfas (F) tratadas são associadas às tiras de aço do riser e a bobina planar (BP) é associada ao riser posicionada de forma a permitir a detecção da deformação das tiras de aço.

[0048] Dessa forma, o aumento do desempenho de sensoriamento ocasionado pelo tratamento termomagnético nas fitas amorfas (F) permite um sensoriamento de rompimento de tiras de aço em risers com alto desempenho evitando altos custos de manutenção e complicações durante o procedimento de extração petrolífera e de gás natural.

Exemplo 1. Realização Preferencial

[0049] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção sem limitar, contudo, o escopo da mesma.

Exemplo I

[0050] A fim de otimizar a sensibilidade de um sensor foi realizado um experimento para determinar quais materiais seriam mais adequados para a fabricação do sensor de deformação. Dessa forma, fitas amorfas foram recozidas em um campo magnético transversal no plano das fitas de cerca de 500 Oe aplicado pelo posicionamento de ímãs NdFeB do lado externo do local de recozimento, as fitas amorfas foram recozidas na pressão local (1 Torr) por 30

minutos em aproximadamente 315°C. Quatro composições de fitas amorfas foram analisadas: Metglas 2826MB3, Vitrovac 7600, uma etiqueta comercial EAS (Electronic Article Surveillance) utilizada em supermercados e 1K501 da empresa Beijing Yeke Nano Tech. Todas as fitas foram submetidas às mesmas condições de tratamento termomagnético descrito abaixo.

[0051] A Figura 2 mostra a frequência de ressonância de duas fitas com as composições Metglas 2628MB3 e Vitrovac 7600 antes e depois do recozimento em função do campo magnético de polarização DC. A fita de Metglas utilizada apresenta a composição aproximada (em massa) de $\text{Fe}_{45}\text{Ni}_{45}\text{Mo}_7\text{B}_3$. É interessante notar que o tratamento termomagnético reduz o campo de anisotropia do Metglas 2826 MB3 enquanto o aumenta no Vitrovac 7600.

[0052] A frequência mínima (Δf) associada ao efeito ΔE é caracterizada pela diferença de frequência entre o campo magnético nulo e o campo magnético correspondente ao ponto mais baixo da curva, designado como H_A , uma vez que este valor é próximo ao campo de anisotropia (H_A). Os valores para as fitas estudadas são descritos na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Valores da frequência mínima de ressonância (Δf) e de campo magnético de anisotropia (H_A).

Fitas	Δf (kHz)	H_A (Oe)
Metglas 2826MB3	-6.96	2.57
Vitrovac 7600	-16.28	16.54
Etiqueta EAS	-5.85	8.27
Beijing 1K501	-7.00	3.68

[0053] O tratamento termomagnético demonstrou pouco efeito na curva da frequência de ressonância da etiqueta EAS, provavelmente porque este material já passou por algum tipo de recozimento para alinhar seus domínios magnéticos perpendicularmente ao eixo da fita. O recozimento aprofundou a curva de mínimos da frequência mínima de ressonância (Δf) do material Beijing 1k501, mas não resultou em uma assimetria visível.

[0054] Um sistema simples foi construído para deformar um substrato no qual o material transdutor é colado, de forma a permitir o estiramento do transdutor. O substrato e o transdutor foram posicionados dentro de um par de bobinas Helmholtz, uma das bobinas proporciona um campo magnético DC, permitindo a operação do sensor em diferentes campos de polarização.

[0055] A frequência mínima de ressonância (Δf), que é uma manifestação do efeito ΔE , após o recozimento das fitas não só se tornou mais pronunciada, mas também se tornou mais assimétrica. Essa assimetria ocorreu devido à diminuição brusca da susceptibilidade na medida em que a intensidade de campo magnético (H) se aproxima a intensidade de campo magnético de anisotropia (H_A).

[0056] Foi escolhido um campo de polarização aproximadamente no centro da parte inclinada da curva da frequência mínima de ressonância (Δf). No caso do Metglas 2826MB3 com a assimetria pronunciada, tantos campos de polarização acima como abaixo do campo magnético de anisotropia (H_A). A outra bobina de Helmholtz proporciona um campo magnético AC para excitação do ressonador. Uma bobina de detecção captura a variação de fluxo magnético produzido pelo ressonador que é analisada, então, por um amplificador lock-in. Os transdutores foram colados aos substratos com colas baseadas em ester de cianoacrilato. Foi utilizado um sistema de pesos, no qual foi possível aplicar uma tensão de até 60 MPa para os substratos, correspondendo a uma deformação de 0.07 %.

[0057] A fim de verificar o efeito do tratamento termomagnético em um transdutor, foi utilizada uma fita de 37 mm x 6 mm de Metglas 2826MB3 com uma composição (em massa) aproximada de $\text{Fe}_{45}\text{Ni}_{45}\text{Mo}_7\text{B}_3$ tratada de acordo com o tratamento termomagnético descrito previamente. Alguns materiais ressonadores (37 mm x 6 mm) foram utilizados com esse transdutor e os resultados são exibidos na Figura 3.

[0058] Para o ressonador foram utilizados Metglas 2826MB3 tratado e cru e uma etiqueta EAS ($\text{Ni}_{56}\text{Fe}_{29}\text{Co}_{14}\text{Si}_1$). Utilizando Metglas 2826MB3 cru para o

ressonador e tratado para o transdutor foi obtida uma maior diferença de frequência para uma deformação de 400 ppm. A etiqueta EAS não tratada como ressonador mostrou uma frequência ainda maior que o anterior para a deformação de 400 ppm. A diferença de frequência foi positiva devido ao campo magnético de polarização (H_o) ser menor do que o campo magnético de anisotropia (H_A).

[0059] Então a utilização de ressonador e transdutor de Metglas 2826MB3 tratados obteve uma diferença de frequência de aproximadamente 60 vezes maior do que os resultados obtidos com o ressonador e transdutor de Metglas 2826MB3 cru. O campo magnético de polarização (H_o) determina a orientação dos momentos magnéticos do transdutor. Ainda, o campo magnético marginal (H_1) determina a mudança da frequência de ressonância do ressonador. Desta forma, o campo magnético total (H_T) que age no ressonador é definido pela equação $H_T = H_o - H_1$.

[0060] Para materiais com magnetostricção positiva uma tensão aplicada orienta os momentos no sentido da deformação aumentando o campo marginal (H_1).

[0061] Na figura 4 são exibidos os resultados para os materiais tratados termomagneticamente, na qual as medições para o Metglas foram efetuadas para um campo magnético de polarização (H_o) superior ao campo magnético de anisotropia (H_A), uma vez que o Metglas possui um campo magnético de anisotropia (H_A) relativamente baixo. Para as demais fitas, as medições foram realizadas para um campo magnético de polarização (H_o) inferior ao campo magnético de anisotropia (H_A).

[0062] Dessa forma, foi possível observar que o tratamento termomagnético aplicado a fim de induzir anisotropia nas fitas resultou em uma assimetria na curva de frequência ressonante versus o campo magnético de polarização (H_o) para as fitas de Metglas e Vitrovac.

[0063] Como o Metglas tem um campo magnético de anisotropia (H_A) baixo foi possível a utilização do Metglas tanto como transdutor como ressonador

para sensoriamento submetidos a campos magnéticos de polarização (H_0) superiores ao campo magnético de anisotropia (H_A). A utilização das fitas de Metglas tratados no sensoriamento apresentou uma sensibilidade muito maior em comparação com as fitas não tratadas.

[0064] Dessa forma, o tratamento termomagnético proposto otimiza o desempenho das fitas amorfas Metglas no sensoriamento de deformação.

[0065] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoramento de deformação em risers **caracterizado** por compreender ao menos as etapas de:
 - a. posicionamento de uma fita amorfa (F) não recozida em um compartimento (C) pressurizado a ao máximo 1 Torr;
 - b. aquecimento do dito compartimento (C) a uma faixa de temperatura entre 250°C e 350°C;
 - c. aplicação de um campo magnético transversal (H), com intensidade de campo magnético de ao menos 500 Oe no plano da fita amorfa (F), no dito compartimento (C);
 - d. recozimento da fita amorfa (F) por um período entre 15 a 90 minutos; e
 - e. resfriamento da fita amorfa (F).
2. Método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoramento de deformação em risers, de acordo a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de a fita amorfa (F) compreender composição em massa de $\text{Fe}_{45}\text{Ni}_{45}\text{Mo}_7\text{B}_3$.
3. Método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoramento de deformação em risers de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizado** pelo fato de a fita amorfa (F) apresentar dimensões de 37mm x 6 mm.
4. Método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoramento de deformação em risers de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de o compartimento (C) ser evacuado por uma bomba mecânica.
5. Método de tratamento termomagnético em fita amorfa para sensoramento de deformação em risers de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de o campo magnético transversal (H) ser aplicado por meio de ímãs de Neodímio.

6. Uso de fita amorfa para sensoramento em risers **caracterizado** pelo fato de a fita amorfa (F) ser tratada de acordo com o método descrito pelas reivindicações de 1 a 5 e pelo fato de:

- a. ser utilizada como transdutor em um sensor de deformação;
- b. ser utilizada como ressonador em um sensor de deformação; ou
- c. ser utilizada como transdutor e como ressonador em um sensor de deformação.

7. Uso de fita amorfa para sensoramento em risers, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de a fita amorfa (F) realizar o sensoramento de deformação de tiras de aço compreendidas em riser flexível.

8. Sistema de detecção de deformação em substrato **caracterizado** por compreender ao menos:

- a. uma primeira fita amorfa (F1) e uma segunda fita amorfa (F2);
- b. uma bobina planar (BP);
- c. um substrato (1);
- d. um circuito de instrumentação;

em que,

- as fitas amorfas (F1 e F2) são tratadas de acordo com o método de tratamento termomagnético definido nas reivindicações 1 a 8;
- a primeira fita amorfa (F1) é colada no substrato (1);
- a segunda fita amorfa (F2) é disposta sobre a primeira fita amorfa (F1);
- a bobina planar (BP) é disposta paralelamente à segunda fita amorfa (F2);
- o circuito de instrumentação é associado à bobina planar (BP).

9. Sistema de detecção de deformação em substrato, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de o substrato (1) ser uma tira de aço compreendida em um riser flexível para extração de óleo e gás.

10. Sistema de detecção de deformação em substrato, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato do circuito de instrumentação detectar sinais provindos da bobina planar (BP), em que estes sinais são associados à

deformação do dito substrato (1).

FIGURAS

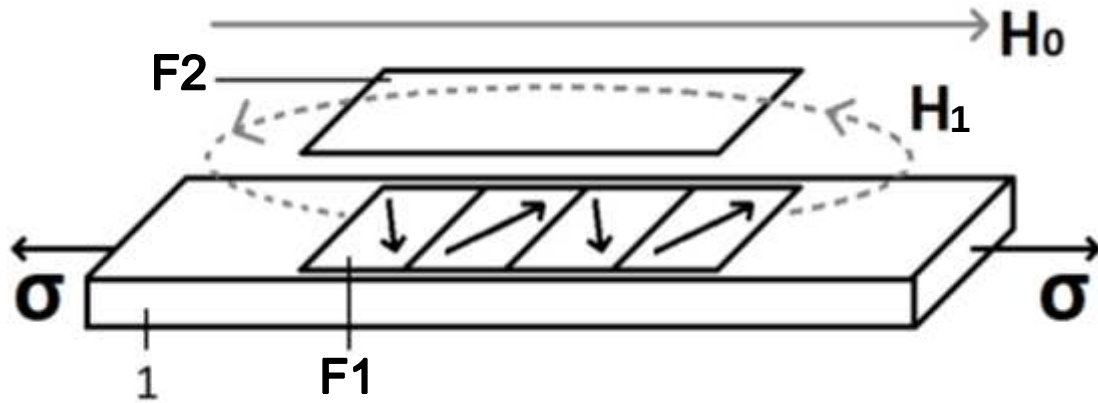


Figura 1

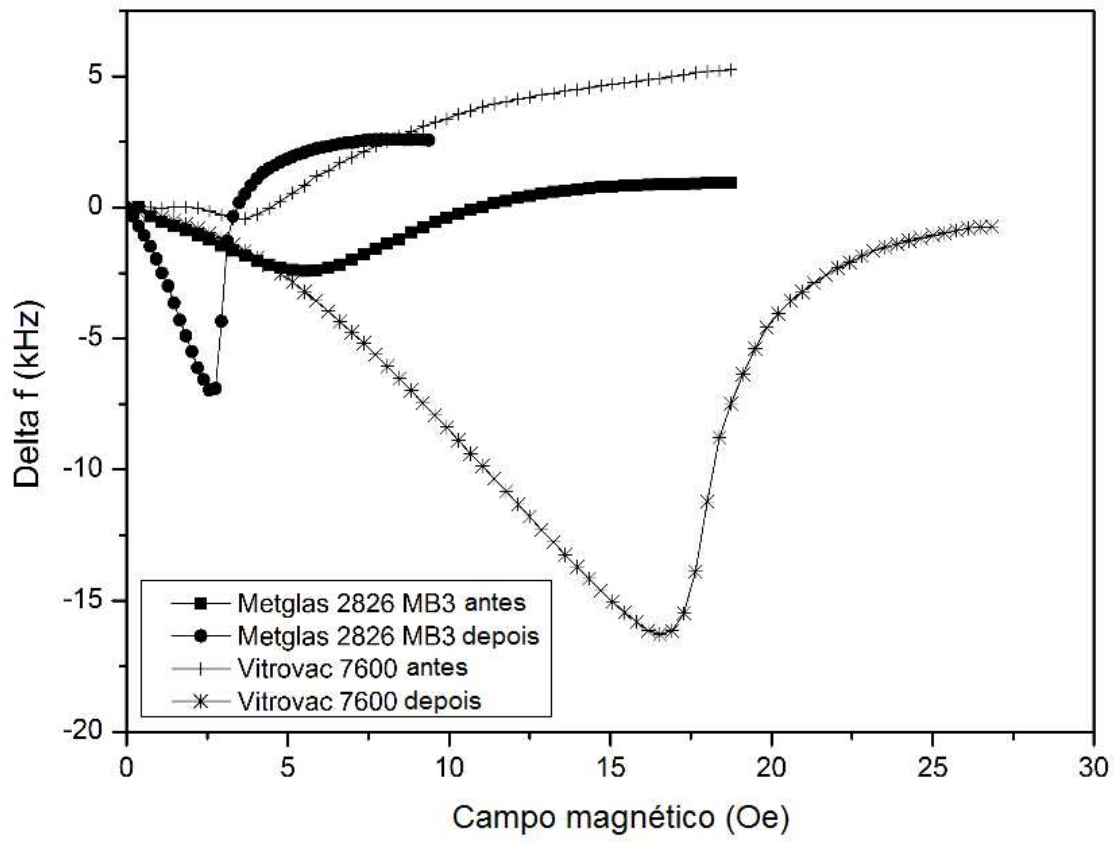


Figura 2

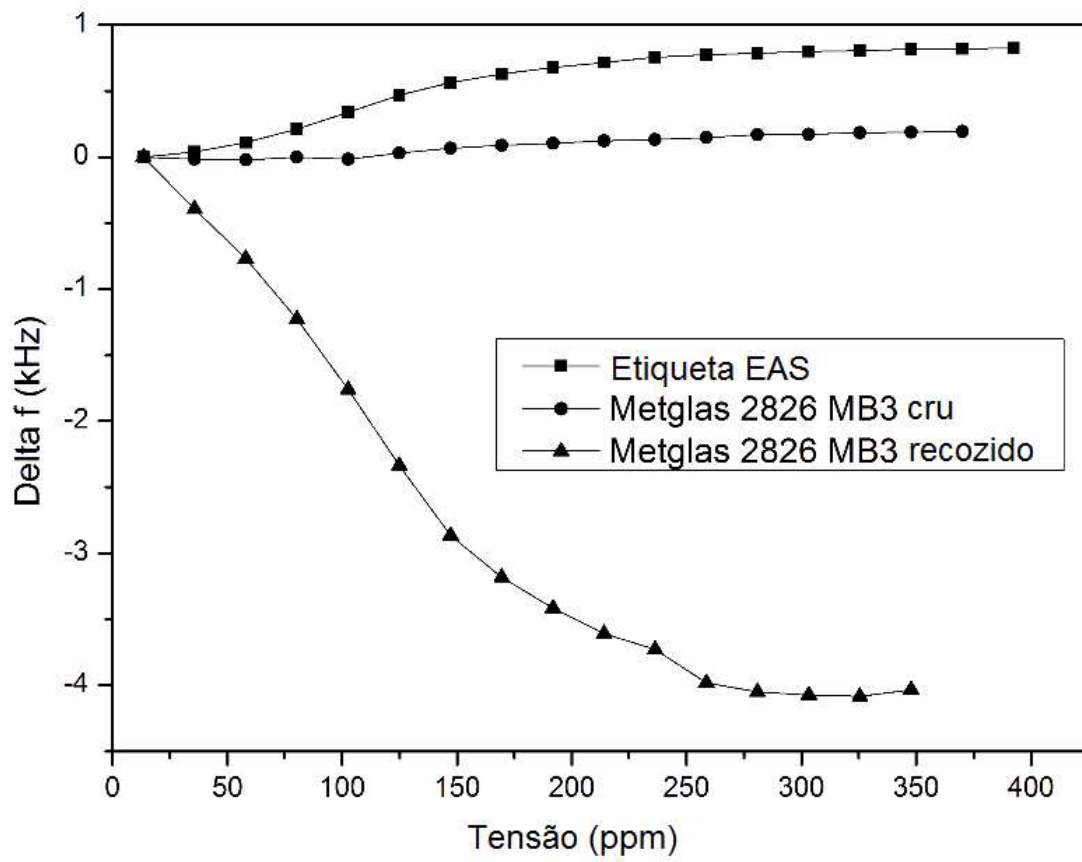


Figura 3

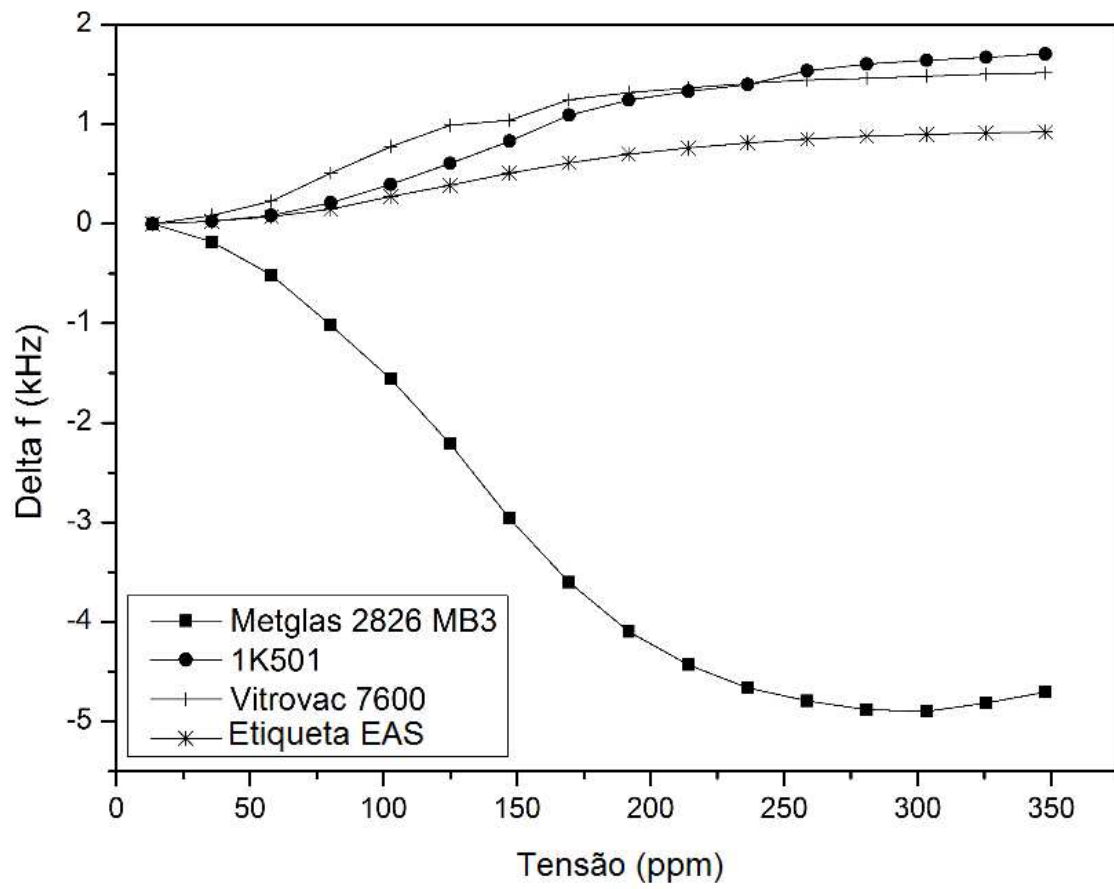


Figura 4

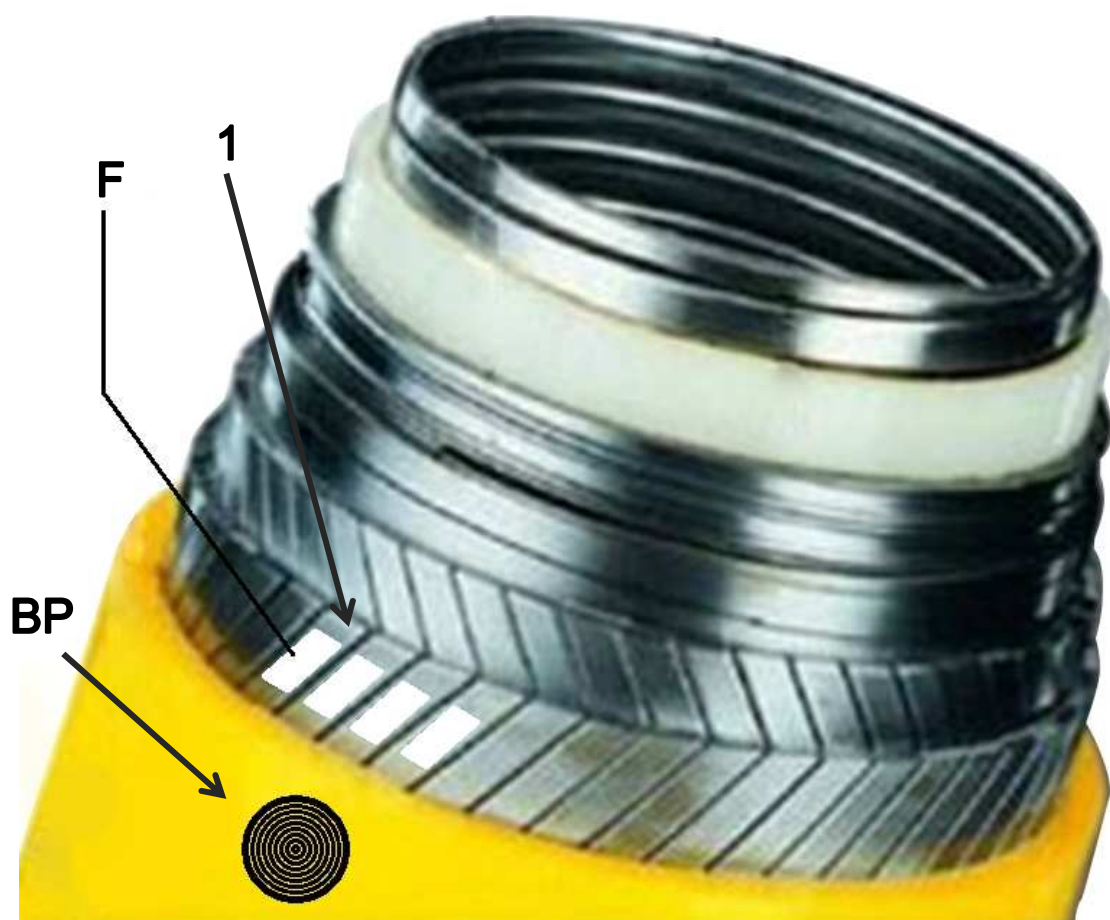


Figura 5

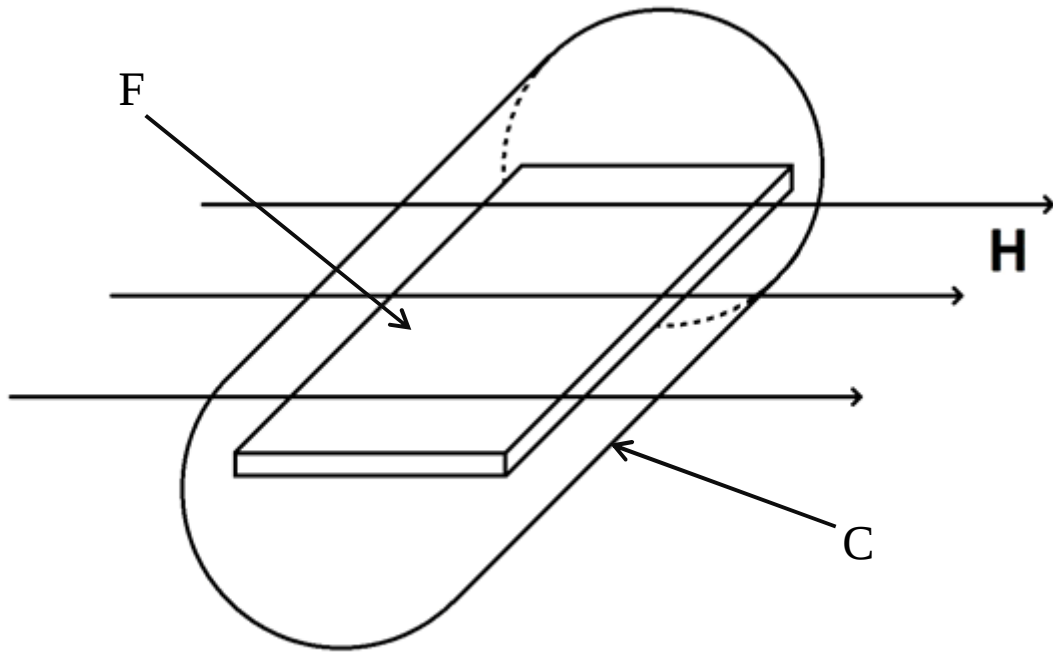


Figura 6