República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102020024201-6 A2

(22) Data do Depósito: 26/11/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 31/05/2022

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO DE INSPEÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS

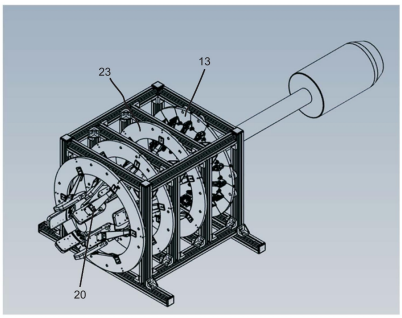
(51) Int. Cl.: G01N 27/83; G01N 27/90.

(52) CPC: G01N 27/83; G01N 27/90.

(71) Depositante(es): VALLOUREC SOLUÇÕES TUBULARES DO BRASIL S.A..

(72) Inventor(es): ANTÔNIO SÉRGIO MEDEIROS FONSECA; EDSON JOSE EUFRÁSIO; LUCAS KLING E SILVA; CESAR GIRON CAMERINI; GABRIELA RIBEIRO PEREIRA.

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO DE INSPEÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS. A presente invenção refere-se a um sistema de inspeção da superfície de peças metálicas, no qual uma pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) fixados a uma armação (1) de forma espaçada, uma pluralidade de sensores de corrente parasita (20) fixados a uma armação (1) de forma espaçada e voltados para a superfície da peça metálica a ser inspecionada; sendo que, durante o funcionamento do sistema, há um deslocamento relativo entre a armação (1) e a peça metálica inspecionada; um circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, que recebe e processa em tempo real os sinais obtidos pela pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) e de sensores de corrente parasita (20); e uma unidade de interpretação e avaliação que recebe os sinais processados pelo circuito eletrônico de multiplexação e identifica defeitos na superfície das peças metálicas. A invenção refere-se também a um método de inspeção de pelo menos um segmento de geometria constante da superfície de peças metálicas, realizado por esse sistema, que identifica defeitos de perfil geométrico com base nos dados obtidos pelos sensores de perfil geométrico (10), e identifica defeitos superficiais com base nos dados obtidos pelos sensores de corrente parasita (20).



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"SISTEMA E MÉTODO DE INSPEÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS".**

[0001] A presente invenção refere-se a um sistema e um método de inspeção ao longo de um segmento regular da superfície interna ou externa de peças metálicas, podendo ser cilíndricas, maciças ou vazadas, tais como tubos, dutos, mandris, eixos, perfis de geometrias diversas, chapas, ferramentas para a produção de peças metálicas em geral e especificamente de peças tubulares, entre outros.

Descrição do Estado da Técnica

[0002] A avaliação da superfície externa ou interna de peças metálicas, como tubos, dutos, mandris, eixos, perfis e de ferramentas para a produção dessas peças, é uma etapa importante do processo de fabricação destes produtos e do monitoramento da integridade e conformidade geométrica das ferramentas. O acompanhamento das condições das peças é essencial para garantir o funcionamento adequado das mesmas. Para isto, diferentes formas de realizar ensaios não-destrutivos são utilizadas para avaliar estas peças.

[0003] Atualmente, estas avaliações são feitas por meio de diferentes dispositivos para diferentes casos. O documento do estado da técnica AU2015200693 divulga métodos e aparelhos para aquisição e processamento de dados a partir de uma pluralidade de diferentes tipos de sensores para testes não destrutivos de estruturas metálicas. Esses métodos e aparelhos são usados para aquisição de dados de produtos prontos, e não durante o processo de fabricação dos mesmos. Um sinal de transdutor acústico eletromagnético (EMAT), um sinal de corrente parasita (EC), um sinal de vazamento de fluxo magnético (MFL) e um sinal de deflexão são adquiridos de cada uma das várias regiões localizadas de uma estrutura metálica e são processados para caracterizar uma ou mais características da estrutura metálica baseadas em pelo menos dois dos sinais EMAT, EC, MFL e de defle-

xão adquiridos de uma região localizada comum, na qual pelo menos uma porção da característica está localizada. Um dispositivo multissensor integrado para ensaio não destrutivo pode ser usado para fornecer sinais de EC, EMAT, MFL e deflexão para cada uma da pluralidade de regiões localizadas da estrutura metálica. Esses dispositivos multissensores integrados podem ser configurados para fornecer uma ferramenta de inspeção em linha, como uma sonda inteligente (Pig) que é usada para inspecionar a integridade de tubulações.

[0004] As sondas do tipo Pig, que percorrem o interior da peça metálica com um determinado tipo de sensor, são comumente utilizadas, no entanto, seu uso está associado à detecção de perdas mais severas na estrutura cilíndrica. Além disso, o documento acima cita a combinação de diferentes tipos de sensores para a obtenção dos resultados, porém, ferramentas como a descrita nesse documento possuem alto custo e complexidade, não sendo uma solução viável para detecção de pequenos defeitos em perfis tubulares. O Pig divulgado nessa anterioridade somente funciona para a avaliação de superfícies de peças cilíndricas, não sendo adequado para avaliação de superfícies de chapas e peças vazadas e com diferentes geometrias e seções transversais.

[0005] O documento US4818935 divulga um método e um aparelho para inspeção não destrutiva de falhas em materiais metálicos incluindo bobinas de excitação centradas em um eixo longitudinal cilíndrico ou colunar de um material metálico a ser examinado, sendo disposto para envolver o material examinado. Uma corrente alternada multifásica de uma frequência relativamente baixa que faz com que as bobinas de excitação gerem um campo magnético rotativo que gira em torno do eixo longitudinal do material examinado é sobreposta a uma corrente alternada de alta frequência tendo uma frequência de inspeção selecionada com base da sensibilidade necessária para a detec-

ção de falhas superficiais do material examinado. A corrente multifásica composta é aplicada às bobinas de excitação, de modo que um efeito eletromagnético induzido na superfície do material examinado pela corrente alternada de alta frequência é rotacionado para deslocamento circunferencial em torno do material examinado em conjunto com o campo magnético rotativo. Um grupo de elementos de detecção disposto na proximidade da superfície do material examinado detecta a alteração do efeito eletromagnético, dependente da presença ou ausência de uma falha superficial do material examinado.

[0006] O documento US6404189 divulga um método e sistema para implementar técnicas de sensores magnetostritivos para a avaliação não destrutiva de estruturas de dutos. O sistema consiste de uma unidade de instrumento de sensor magnetostritivo, uma unidade de armazenamento de dados e uma pluralidade de sondas de sensor magnetostritivo são posicionadas em um veículo de inspeção em linha. A unidade de instrumentação inclui eletrônica para transmitir pulsos de excitação para uma sonda de sensor magnetostritivo transmissor, assim como eletrônica para amplificar e condicionar os sinais detectados por uma sonda de sensor magnetostritivo receptora. As sondas de sensores magnetostritivos incluem tanto os sensores magnetostritivos de placa quanto os ímãs permanentes, que fornecem um campo magnético de polarização de corrente direta necessário para a operação do sensor magnetostritivo; as sondas de transmissão e recepção são ligadas ao veículo de inspeção em linha por meio de braços mecânicos em lados opostos do veículo. Os braços mecânicos são carregados por mola e estão equipados com roletes que mantêm as sondas a distâncias aproximadamente constantes do diâmetro interno da parede do tubo. O método envolve a geração de pulsos de ondas horizontais de cisalhamento de frequências inferiores a 200 kHz. A sonda do sensor magnetostritivo transmissor gera uma onda que se propaga em

ambas as direções ao redor da circunferência da parede do tubo a partir de um ponto adjacente à sonda transmissora. Ambas as ondas são depois recebidas na sonda receptora espaçada a 180 graus da sonda transmissora. Qualquer defeito presente na parede do tubo dentro da circunferência a ser investigada aparecerá no sinal recebido.

[0007] O documento US6924640 divulga um sistema de inspeção para a detecção de falhas em tubos ferromagnéticos de perfuração de poços de petróleo e gás. O dispositivo de inspeção opera dentro do tubo saturando primeiramente a parede do tubo através de fluxo magnético. As imperfeições ao longo da parede do tubo causam vazamento de fluxo magnético que é medido com sensores de efeito Hall dispostos dentro do dispositivo de inspeção. A magnitude do vazamento de fluxo é então relacionada à quantidade de perda de material. As correntes parasitas induzidas na parede também são medidas e combinadas com as medições dos sensores de efeito Hall para definir a localização e a forma geométrica da falha.

[0008] Apesar de já serem conhecidos diferentes dispositivos para inspeção não destrutiva de tubos, não há no estado da técnica nenhum sistema que seja capaz de aliar dois tipos diferentes de sensores, sendo um deles do tipo sensor de correntes parasitas e o outro sendo um sensor de medidas magnéticas, de modo a processar e combinar os dados capturados em tempo real e prover uma análise e reconstrução de diferentes tipos de defeitos detectados em peças metálicas com diferentes geometrias, incluindo tanto defeitos do tipo trincas, microtrincas, dobras, bolsas e arranhões, longitudinais, como defeitos no perfil geométrico da superfície do tubo, tais como ovalizações, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material, flambagem, entre outros.

Objetivos da Invenção

[0009] Um primeiro objetivo da invenção é de proporcionar um sis-

tema e um método que sejam capazes de realizar uma inspeção em tempo real e em linha de peças metálicas tubulares, suas ferramentas de fabricação e peças metálicas com geometrias e seções transversais diversas em geral unindo diferentes tipos de sensores, de modo a possibilitar resultados mais completos, identificando diferentes tipos de defeitos, tanto defeitos do tipo imperfeições do tipo trincas, microtrincas e arranhões, longitudinais, como defeitos no perfil geométrico da superfície da peça metálica, tais como ovalizações, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material, flambagem, entre outros.

[0010] Um outro objetivo da invenção é de proporcionar um sistema e um método que sejam capazes de obter, processar e analisar dados detalhados dos diferentes tipos de defeitos encontrados em uma peça metálica inspecionada e, a partir desses dados, caracterizá-los e classificá-los de forma automatizada em diferentes tipos.

Breve Descrição da Invenção

[0011] Os objetivos da invenção são alcançados por um sistema de inspeção da superfície de peças metálicas, que compreende: uma armação; uma pluralidade de sensores de perfil geométrico fixados à armação de forma espaçada, uma pluralidade de sensores de corrente parasita fixados à armação 1 de forma espaçada e voltados para a superfície da peça metálica a ser inspecionada; sendo que, durante o funcionamento do sistema, há um deslocamento relativo entre a armação e a peça metálica inspecionada; um circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, que recebe e processa em tempo real os sinais obtidos pela pluralidade de sensores de perfil geométrico e de sensores de corrente parasita, e uma unidade de interpretação e avaliação que recebe os sinais processados pelo circuito eletrônico de multiplexação e identifica defeitos na superfície das peças metálicas.

[0012] A armação pode compreender pelo menos um suporte de

sensor de perfil geométrico ao qual são acoplados os sensores de perfil geométrico, sendo que o suporte de sensor de perfil geométrico apresenta uma seção compatível com a seção transversal do segmento inspecionado da peça metálica.

[0013] Pelo menos alguns sensores de perfil geométrico são preferivelmente fixados articuladamente à armação e podem compreender uma haste com um primeiro lado articuladamente acoplado a um dentre a armação e o suporte de sensor de perfil geométrico, e um segundo lado acoplado com a extremidade de contato, um imã sendo fixado ao primeiro lado da haste acoplado à armação, sendo que a extremidade de contato de cada sensor de perfil geométrico se desloca sobre a superfície de inspeção da peça metálica durante o deslocamento relativo entre a peça metálica e a armação.

[0014] Um rolamento pode acoplado rotativamente à extremidade de contato do sensor de perfil geométrico, sendo que o rolamento rola sobre todo o comprimento do segmento a ser inspecionado da superfície da peça metálica.

[0015] Pelo menos alguns sensores de perfil geométrico podem ser um dentre um sensor laser de ponto e um sensor laser de linha, sendo esses sensores laser acoplados a um dentre a armação e o suporte de sensor de perfil geométrico.

[0016] O sensor de perfil geométrico pode compreender ainda um encoder acoplado ao rolamento, sendo que o encoder determina a localização longitudinal das medições realizadas na peça inspecionada com base no deslocamento do rolamento sobre a superfície da peça inspecionada, e envia os dados correspondentes à localização longitudinal das medições ao circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos.

[0017] Alternativamente, pelo menos uma mola é acoplada ao primeiro lado de cada haste e a uma dentre a armação e o suporte de

sensor de perfil geométrico.

[0018] Cada sensor de corrente parasita pode compreende uma sapata e pelo menos duas bobinas acopladas à sapata, sendo que cada sapata é fixada a uma dentre a armação e o suporte de sensor de perfil geométrico, ficando em uma posição próxima à superfície da peça metálica durante o deslocamento relativo entre a peça metálica e a armação, e cada sensor de corrente parasita mede a interferência entre os campos magnéticos gerados pelas bobinas e o campo magnético gerado por uma corrente parasita induzida no segmento inspecionado da peça metálica.

[0019] A armação pode compreender pelo menos um suporte de sensor de corrente parasita ao qual são acoplados os sensores de corrente parasita.

[0020] O posicionamento e a quantidade de sensores de corrente parasita e de sensores de perfil geométrico utilizados são preferivelmente definidos com base em uma resolução e uma redundância predeterminadas e cada um dos sensores de corrente parasita e dos sensores de perfil geométrico é montado em um braço articulado de forma independente.

[0021] Os sensores de corrente parasita e os sensores de perfil geométrico de superfície são, preferivelmente, regularmente distribuídos em pelo menos duas dimensões, definindo pelo menos duas fileiras, e compreendendo um deslocamento entre os sensores próximos de duas fileiras sequenciais. O deslocamento é inferior à largura de um sensor de correntes parasitas unitário.

[0022] O circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos converte os sinais obtidos pela pluralidade de sensores de perfil geométrico e de sensores de corrente parasita em sinais digitais e envia para a unidade de interpretação e avaliação, e a unidade de interpretação e avaliação analisa e padroniza os sinais, reconstrói os

defeitos, analisa parâmetros dos defeitos e classifica os defeitos identificados.

[0023] Os sensores de perfil geométrico identificam defeitos do perfil geométrico da superfície de inspeção da peça metálica; e os sensores de corrente parasita identificam defeitos do tipo trincas, microtrincas, arranhões e defeitos de perda de massa de pequenas dimensões.

[0024] Os sensores de corrente parasita atuam em uma dentre configuração absoluta, configuração diferencial, configuração pick-up e configuração PEC (Pulsed Eddy Current). Os sensores magnéticos dos sensores geométricos de superfície são um dentre sensor Hall, sensor do tipo GMR (Giant Magneto Resistence) e sensor do tipo SQUID (Super Conducting Quantum Interference Device).

[0025] O sistema de inspeção pode compreender uma pluralidade de hastes acopladas à armação, sendo que em cada haste está acoplado um sensor de perfil geométrico e um sensor de corrente parasita, em que o sensor de corrente parasita fica disposto na extremidade de contato do sensor de perfil geométrico.

[0026] Os objetivos da invenção são ainda alcançados por um método de inspeção de pelo menos um segmento de geometria constante da superfície de peças metálicas, realizado por um sistema como aqui descrito, que compreende

realizar um deslocamento relativo entre a armação do sistema e a peça metálica inspecionada, e durante o deslocamento:

- identificar defeitos de perfil geométrico da superfície de inspeção da peça metálica com base nos dados obtidos pelos sensores de perfil geométrico, e

- identificar defeitos superficiais com base nos dados obtidos pelos sensores de corrente parasita.

[0027] De acordo com uma modalidade da invenção, durante o

deslocamento relativo entre a armação do sistema e a peça metálica inspecionada

a.1) os sensores de perfil geométrico 10 obtêm medidas relativas à geometria da superfície inspecionada da peça metálica,

a.2) uma corrente parasita é induzida no segmento inspecionado da peça metálica,

a.3) os sensores de corrente parasita 20 medem a interferência entre os campos magnéticos gerados pelas bobinas e o campo magnético gerado pela corrente parasita induzida no segmento inspecionado;

a.4) os sensores de perfil geométrico 10 e os sensores de corrente parasita 20 enviam essas medidas analógicas para o circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos;

b) o circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos converte os dados analógicos capturados na etapa a.4) em dados digitais e os envia para a unidade de interpretação e avaliação;

c) a unidade de interpretação e avaliação identifica defeitos na superfície da peça metálica com base nos sinais obtidos pelos sensores de perfil geométrico 10 e pelos sensores de corrente parasita 20.

[0028] Preferivelmente, na etapa a.1), as extremidades de contato 12 de pelo menos alguns sensores de perfil geométrico 10 se deslocam sobre a superfície de inspeção da peça metálica, sendo que o sensor magnético detecta um fluxo magnético gerado pelo imã no movimento da articulação do respectivo sensor de perfil geométrico 10 com a armação 1 durante esse deslocamento.

[0029] Na etapa a.1), os sensores laser podem identificar uma variação na geometria da superfície da peça metálica inspecionada e enviar as medidas obtidas diretamente para a unidade de interpretação e avaliação.

[0030] Preferivelmente, a unidade de interpretação e avaliação analisa e padroniza os sinais recebidos do circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, reconstrói os defeitos, analisa parâmetros dos defeitos e classifica os defeitos identificados. Os defeitos superficiais compreendem trincas, microtrincas, arranhões, dobras e bolsas, e os defeitos de perfil geométrico compreendem ovalizações, excentricidade, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material e flambagem.

[0031] A etapa de realizar um deslocamento relativo entre a armação do sistema e a peça metálica inspecionada pode compreender um dentre:

- deslocar a peça metálica internamente à armação do sistema, para a inspeção da superfície externa da peça metálica;

- deslocar a armação do sistema externamente à peça metálica, para a inspeção da superfície externa da peça metálica;

- deslocar a peça metálica externamente à armação do sistema, para a inspeção da superfície interna da peça metálica; e

- deslocar a armação do sistema internamente à peça metálica, para a inspeção da superfície interna da peça metálica.

Breve Descrição das Figuras

[0032] Para melhor compreensão, as características e vantagens da presente invenção serão apresentadas e descritas em conjunto com suas respectivas figuras, as quais ilustram algumas modalidades preferidas da invenção.

[0033] A figura 1 representa uma vista em perspectiva do sistema de inspeção de acordo com uma modalidade da invenção.

[0034] A figura 2 representa uma vista lateral do sistema de inspeção mostrado na figura 1.

[0035] A figura 3 representa uma vista frontal do sistema de inspeção mostrado na figura 1.

[0036] A figura 4 representa uma vista traseira do sistema de inspeção mostrado na figura 1.

[0037] A figura 5 representa uma vista em perspectiva de um sensor de corrente parasita utilizado no sistema de inspeção de acordo com as figuras 1 a 4.

[0038] A figura 6 representa uma vista lateral de um sensor de corrente parasita da figura 5.

[0039] A figura 7 representa uma vista lateral de um sensor de perfil geométrico de defeito utilizado no sistema de inspeção de acordo com as figuras 1 a 4.

[0040] A figura 8 é um exemplo de uma amostra de peça metálica sendo inspecionada.

[0041] A figura 9 representa graficamente os sinais representativos de defeitos da superfície inspecionada da peça metálica identificados pelo sistema de acordo com a invenção.

[0042] A figura 10 representa graficamente os defeitos da superfície identificados pelo sistema de acordo com a invenção em diferentes etapas do processamento.

[0043] A figura 11 é uma vista frontal esquemática do sistema de acordo com a invenção realizando uma inspeção da superfície externa de uma peça com seção transversal circular.

[0044] A figura 12 é uma vista frontal esquemática do sistema de acordo com a invenção realizando uma inspeção da superfície interna de uma peça com seção transversal circular.

[0045] A figura 13 é uma vista frontal esquemática do sistema de acordo com a invenção realizando uma inspeção da superfície interna de uma peça metálica em forma de chapa.

Descrição Detalhada da Invenção

[0046] A figura 1 ilustra uma modalidade preferida do sistema de inspeção de peça metálica, objeto da presente invenção. As peças

metálicas podem ser cilíndricas, maciças ou vazadas, tais como tubos, dutos, mandris, eixos; perfis de geometrias diversas, chapas, ferramentas para a produção de peças metálicas em geral e especificamente de peças tubulares, entre outros.

[0047] O sistema compreende uma armação 1, à qual estão fixados articuladamente uma pluralidade de sensores de perfil geométrico 10. Os sensores de perfil geométrico10 ficam distribuídos regulamente de forma espaçada entre eles a fim de cobrir toda a superfície da peça metálica a ser inspecionada nas direções radial e axial. Os sensores de perfil geométrico 10 identificam defeitos de perfil geométrico como, por exemplo, ovalizações, excentricidade, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material, flambagem entre outros. Durante o funcionamento do sistema, ocorre um deslocamento relativo entre a armação 1 e a peça metálica inspecionada.

[0048] Em uma modalidade da invenção mostrada nas figuras 1 e 4, a armação 1 compreende um suporte de sensor de perfil geométrico 13 fixado a ela. Os sensores de perfil geométrico podem estar acoplados diretamente à armação 1 ou ao suporte 13. Esse suporte de sensor de perfil geométrico 13 apresenta uma seção transversal compatível com a seção transversal do segmento inspecionado da peça metálica. Por exemplo, quando a peça metálica a ser inspecionada tiver seção transversal interna ou externa circular, o suporte de sensor de perfil geométrico 13 pode ser em forma de disco.

[0049] Na figura 11 é mostrada uma modalidade da invenção em que a peça metálica apresenta um formato tubular, com perfil transversal circular e o sistema de acordo com a invenção inspeciona a superfície externa dessa peça.

[0050] No lado esquerdo da figura 11, são ilustrados os sensores de perfil geométrico 10 acoplados de forma circunferencialmente espaçada ao redor de toda a circunferência do suporte de sensor de per-

fil geométrico 13 fixado à armação em forma de disco. Nessa modalidade da invenção, a peça metálica pode ser deslocada em relação à armação que permanece fixa, de modo que o suporte 13 em forma de disco é atravessado pelas peças metálicas a serem inspecionadas. No sistema de acordo com a invenção podem ser dispostos em série na armação um ou mais suportes de sensor de perfil geométrico 13 acoplados a sensores de perfil geométrico 10, para se obter maior resolução e confiabilidade das medidas.

[0051] O sistema de acordo com a invenção compreende ainda uma pluralidade de sensores de corrente parasita 20 fixados à armação também de forma espaçada entre eles. Em uma modalidade da invenção mostrada nas figuras 1 e 3, a armação compreende pelo menos um suporte de sensor de corrente parasita 23 ao qual podem ser acoplados os sensores de corrente parasita 20.

[0052] Dessa forma, quando ocorre o deslocamento relativo entre a armação e a peça metálica inspecionada, os sensores de corrente parasita 20 também cobrem toda a superfície a ser inspecionada da peça metálica nas direções axial e radial. Os sensores de correntes parasitas 20 são responsáveis por obter dados relativos à identificação de defeitos do tipo trincas, microtrincas, dobras, arranhões, bolsas e defeitos de perda de massa de pequenas dimensões de modo geral.

[0053] No lado direito da figura 11, são ilustrados os sensores de correntes parasitas 20 acoplados de forma circunferencialmente espaçada ao redor de toda a circunferência do suporte de sensor de corrente parasita 23 em forma de disco fixado à armação. Quando a peça metálica é deslocada em relação à armação que permanece fixa, o suporte 23 em forma de disco é atravessado pelas peças metálicas a serem inspecionadas. No sistema de acordo com a invenção podem ser dispostos em série na armação um ou mais suportes de sensor de perfil geométrico 23 acoplados a sensores de corrente parasita 20, pa-

ra se obter maior resolução e confiabilidade das medidas.

[0054] Na modalidade da invenção mostrada nas figuras 1 a 4, o sistema compreende um suporte de sensor de perfil geométrico 13 e três suportes de sensor de corrente parasita 23, dispostos em série. Porém, o sistema pode compreender quantidades diferentes de suportes de sensor de perfil geométrico 13 e suportes de sensor de corrente parasita 23 em função de uma determinada resolução de inspeção que se deseja obter e na redundância ou confiabilidade de medição que se pretende alcançar com a inspeção. Os suportes de sensor de perfil geométrico 13 e suportes de sensor de corrente parasita 23 ficam preferivelmente alinhados, de modo que a peça metálica a ser inspecionada possa ser submetida às medições dos sensores de perfil geométrico 10 e dos sensores de corrente parasita 20 sequencialmente durante o deslocamento relativo entre a armação 1 do sistema e a peça metálica para a realização da inspeção.

[0055] Na figura 7 é ilustrado o sensor de perfil geométrico 10 em mais detalhes de acordo com uma modalidade da invenção. Cada sensor de perfil geométrico 10 compreende uma haste 11 com um primeiro lado articuladamente acoplado diretamente à armação 1 ou ao suporte de sensor de perfil geométrico 13, e um segundo lado dotado de uma extremidade de contato 12, a qual desliza sobre a superfície de inspeção da peça metálica à medida que ocorre o deslocamento relativo entre a armação e a peça metálica.

[0056] Um imã 14 e um sensor de medida magnética capaz de medir um campo magnético são dispostos na região do primeiro lado da haste 11 na região de acoplamento com a armação 1. Preferivelmente, o imã 14 está fixado na haste, enquanto o sensor magnético está fixo na armação 1 ou no suporte do sensor de perfil geométrico 13 onde ocorre o acoplamento com a haste.

[0057] Esses sensores de perfil geométrico 10 são responsáveis

por obter dados relativos a um perfil geométrico da superfície da peça metálica, e suas respectivas imperfeições, tais como ovalizações, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material, flambagem, entre outros.

[0058] Como também pode ser visto na figura 7, as hastes 11 do sensor de perfil geométrico são articuladas na região de acoplamento com a armação 1 ou com o suporte de sensor de perfil geométrico 13 e pelo menos uma mola (não ilustrada) ou um conjunto de molas é acoplada ao primeiro lado da haste 11 e à armação 1, ou ao primeiro lado da haste 11 e ao suporte de sensor de perfil geométrico 13, de modo a ajudar a posicionar a extremidade de contato 12 contra a superfície da peça a ser inspecionada. A extremidade de contato 12 é uma extremidade livre da haste 11.

[0059] Nessa modalidade da invenção mostrada na figura 7, a extremidade de contato 12 compreende um rolamento acoplado rotativamente ao segundo lado da haste, com a função de reduzir o atrito com a superfície do sensor de perfil geométrico com a superfície. Assim, quando ocorre o deslocamento relativo entre a peça metálica e o sistema de inspeção, o rolamento rola continuamente e com baixo atrito sobre a superfície da peça cilíndrica a ser inspecionada, percorrendo todo o segmento a ser inspecionado dessa superfície. Também podem ser usados outros elementos na extremidade de contato 12 que proporcionam seu melhor deslizamento sobre a superfície a ser inspecionada, de forma análoga ao rolamento.

[0060] A disposição de uma série de sensores de perfil geométrico 10 espaçados de forma regular no suporte de sensor de perfil geométrico 13 permite que esses sensores 10 percorram diversos pontos ao redor da superfície a ser inspecionada da peça metálica, obtendo, assim uma maior quantidade de informações sobre toda essa superfície, conforme mostrado na figura 8. Quanto maior for a quantidade de sen-

sores, maior será a porção da superfície avaliada e maior será a resolução, a redundância e a confiabilidade do resultado da inspeção obtido.

[0061] Essa combinação da haste 11 acoplada à armação 1 com auxílio de uma mola e da extremidade de contato 12 em forma de rolamento permite de maneira fácil o deslizamento da extremidade de contato 12 sobre a superfície da peça metálica acompanhando as variações de formato da superfície da peça metálica. Quando ocorre o deslocamento relativo entre a armação 1 e a peça metálica, a extremidade de contato 12 do sensor 10, ao passar por uma variação geométrica da peça, como por exemplo, uma depressão correspondente a um amassamento, se move relativamente à armação 1 ou ao suporte do sensor de perfil geométrico 13, fazendo assim com que a haste 11 gire na região de articulação com a armação 1 ou ao suporte 13 e este movimento produzirá uma variação do fluxo magnético gerado pelo imã e captado pelo sensor magnético. A mola acoplada à haste ajuda a movimentá-la e a mantê-la em contato com a superfície da peça metálica independente das variações de formato da superfície a ser inspecionada da peça metálica. Como sensores de medidas magnéticas podem ser usados sensores do tipo Hall, GMR (Giant Magneto Resistence), sensor do tipo SQUID (Super Conducting Quantum Interference Device), entre outros. Preferivelmente, o sensor magnético é um sensor do tipo Hall alimentado com corrente contínua com amplitude de 5 Volts. A polaridade do sinal de resposta indica o sentido de variação do fluxo magnético, ou seja, um movimento para baixo da haste 11, por exemplo devido a uma depressão na superfície, irá gerar um sinal de resposta negativo, enquanto um movimento para cima, por exemplo fruto de uma protuberância localizada, produzirá um sinal de resposta positivo. A polaridade do sinal pode ser invertida de acordo com a calibração e posicionamento do sensor magnético.

[0062] Em uma modalidade da invenção não ilustrada, podem ser usados sensores laser de ponto ou de linha como sensores de perfil geométrico 10. Os sensores laser são fixados diretamente na armação 1 ou no suporte de perfil geométrico 13 e identificam uma variação na geometria da superfície inspecionada. O sistema de acordo com a invenção pode ainda compreender uma combinação de sensores laser de ponto ou linha e sensores constituídos pela haste 11 associada ao imã e ao sensor magnético do tipo aqui descrito sendo usados simultaneamente como sensores de perfil geométrico 10.

[0063] O sensor de perfil geométrico 10 pode compreender ainda um encoder (não ilustrado) que também está localizado próximo à extremidade de contato 12, o qual é responsável por determinar a localização longitudinal específica das medições realizadas em relação à peça inspecionada. Esse encoder funciona de forma semelhante a um odômetro, transformando o movimento correspondente ao deslocamento linear do rolamento em um sinal elétrico. Dessa forma, é possível saber o quanto o rolamento se deslocou em relação à extremidade do tubo (por exemplo, calculando quantas voltas o rolamento realizou), o que permite identificar a posição longitudinal da variação de forma da superfície do tubo identificada pelo sensor de perfil geométrico 10. O encoder envia o sinal elétrico para uma unidade de interpretação e avaliação que será melhor descrita mais adiante.

[0064] O encoder pode ser disposto em apenas um dos sensores de perfil geométrico 10 usados no sistema, o qual servirá como referência de deslocamento longitudinal relativo para todos os demais sensores usados no sistema, inclusive para os sensores de correntes parasitas 20. Alternativamente, o encoder pode ser disposto em diversos sensores de perfil geométrico 10, proporcionando redundância, com a finalidade de aumentar a precisão da identificação da posição das variações de forma detectadas.

[0065] Em outro aspecto da invenção, os sensores de correntes parasitas 20 são melhor ilustrados nas figuras 5 e 6, de acordo com uma modalidade preferida da invenção. Os sensores de corrente parasita 20 têm um sistema mecânico articulado que assegura que o sensor será sempre plano e paralelo àquela superfície inspecionada. Cada sensor 20 compreende uma sapata 21 com pelo menos duas bobinas 22 acopladas à sapata. Preferivelmente, são usados dois pares de bobinas para cada sensor 20. Cada sapata 21 é fixada à armação 1 ou ao suporte de sensor de corrente parasita 23 da armação em uma posição próxima à superfície da peça metálica à medida que ela atravessa o interior da armação 1.

[0066] Além disso, o sensor de corrente parasita 20 pode compreender suportes e molas para evitar o impacto direto da peça metálica nas bobinas, isto é, de forma que o impacto contra obstáculos ocorra longe das bobinas, sendo que a peça metálica inspecionada entra em contato primeiro com o sensor de corrente parasita 20 no nível de uma base de borracha arranjada para suavizar o impacto. Os materiais de suporte das bobinas podem ser de policarbonato e a base de borracha pode ser de poliuretano. O policarbonato é um material plástico de alta resistência, tanto ao impacto quanto à temperatura. O poliuretano tem excelente resistência à abrasão e funciona a altas temperaturas. Os sensores são dispostos com um deslocamento entre os sensores próximos de duas fileiras sequenciais. Preferivelmente, esse deslocamento é inferior à largura de um sensor de correntes parasitas 20 unitário.

[0067] À medida que ocorre o deslocamento relativo entre a peça metálica e a armação 1 do sistema, cada sensor de correntes parasitas 20 detecta a interferência entre os campos magnéticos primário e secundário gerados pelas bobinas e o campo magnético gerado pela corrente parasita induzida na peça metálica ao longo de todo o comprimento da peça metálica correspondente à posição em que o sensor

está localizado. A disposição de uma série de sensores de corrente parasita 20 espaçados de forma circunferencial no suporte de sensor de corrente parasita 23 permite que esses sensores 20 avaliem diversos pontos ao redor da superfície a ser inspecionada da peça metálica, obtendo, assim uma maior quantidade de informações sobre toda essa superfície, também conforme mostrado na figura 8. Quanto maior for a quantidade de sensores, maior será a área inspecionada da superfície avaliada e maior será a resolução e a confiabilidade do resultado da inspeção obtido. Como pode ser visto nas figuras 1 a 4, os sensores de correntes de parasitas 20 são distribuídas circularmente em várias fileiras, sendo as fileiras circulares, com um deslocamento entre os sensores de correntes parasitas "circularmente próximos" de duas fileiras sequenciais. Cada sensor de correntes de parasitas é montado de forma independente em um respectivo braço articulado. De preferência, o deslocamento deve ser menor que a largura do sensor, a fim de obter uma maior resolução de resultados e também maximizar a superfície inspecionada, como pode ser visto nos resultados gráficos da Figura 9 e da Figura 10.

[0068] Como sensores de correntes parasitas 20 podem ser usados sensores que atuam em uma configuração absoluta, em uma configuração diferencial, em uma configuração pick-up, em uma configuração PEC (Pulsed Eddy Current), entre outros. Preferivelmente, os sensores de corrente parasita compreendem duas bobinas com núcleo de ferrite conectadas em modo diferencial, de modo que a resposta é um sinal de diferença entre as bobinas que compõem o sensor. Estando as bobinas 22 do sensor com a mesma quantidade de espiras, porém com a polaridade invertida, o campo gerado por ambas as bobinas é o mesmo em módulo, porém com sentido invertido. Por conta desta montagem, quando o sensor está localizado em uma região homogênea, a sua resposta é “zero”, dado que uma bobina anula o efeito

da outra. Ao se aproximar de uma região defeituosa, a bobina 22 que primeiro entrar em contato com o defeito terá uma impedância diferente da bobina que está na região homogênea e consequentemente um sinal diferente de “zero” será produzido. Este arranjo de sensor é muito utilizado para detecção de pequenos defeitos de perda de massa, trincas, microtrincas e arranhões, devido a sua grande sensibilidade. Foi constatado, em comparação com outras montagens, que usando a configuração diferencial, a detecção de defeitos é melhorada com uma maior relação sinal-ruído. Além disso, o modo diferencial reduz a influência das variações de lift-off e microestrutura durante a inspeção. Lift-off é o sinal de resposta devido a aproximação ou afastamento da sonda de correntes parasitas do material inspecionado. Durante uma inspeção, devido a fatores externos, como trepidação, o desacoplamento da sonda de correntes parasitas gera um sinal de resposta que pode atrapalhar a identificação de defeitos.

[0069] O sistema de acordo com a invenção pode ser usado para inspecionar superfícies internas ou externas de peças metálicas ocas com seção transversal fechada, ou ainda para inspecionar qualquer superfície de peças metálicas vazadas ou abertas, ou a superfície externa de peças metálicas sólidas, ou as superfícies superior e inferior de peças metálicas chatas (por exemplo, chapas). Para viabilizar essas múltiplas aplicações do sistema de acordo com a invenção, basta se configurar o design da armação 1, e/ou do suporte de sensor de corrente parasita 23 e do suporte de sensor de perfil geométrico 13 com uma seção compatível com a seção transversal do segmento a ser inspecionado da peça metálica, por exemplo circular, triangular, quadrada, retangular, hexagonal, etc., de modo a viabilizar que os sensores de perfil geométrico 10 deslizem sobre a superfície a ser inspecionada, e que os sensores de corrente parasita 23 fiquem suficientemente próximos da superfície inspecionada, a ponto de serem capa-

zes de medir o campo magnético gerado na superfície pela corrente parasita induzida, e variações desse campo.

[0070] Na modalidade da invenção mostrada na figura 11, o sistema é configurado para inspecionar superfícies externas de peças com seção transversal cilíndrica, de modo que a armação 1 e os sensores 13 e 23 ficam dispostos por fora da peça metálica. Já na figura 12, o sistema é configurado para inspecionar superfícies internas de peças com seção transversal cilíndrica, de modo que quando ocorre um deslocamento relativo entre a armação e a peça metálica, a armação e os respectivos sensores passam por dentro da peça metálica. Na modalidade da invenção mostrada na figura 13, o sistema é configurado para inspecionar superfícies de peças do tipo chapa, de modo que quando ocorre um deslocamento relativo entre a armação e a peça metálica, a armação e os respectivos sensores passam por cima e por baixo da peça metálica. Quando a peça metálica possui uma seção transversal ou geometria variável, podem ser necessárias diferentes configurações da armação e/ou dos suportes, para inspecionar toda a superfície da peça

[0071] Além disso, o sistema de acordo com a invenção pode operar com a armação disposta em uma localização fixa, de modo que as peças metálicas sejam deslocadas em relação à armação 1, ou ainda com as peças metálicas sendo mantidas em uma localização fixa e a armação 1 juntamente com os sensores sendo deslocados em relação à peça a ser inspecionada.

[0072] O sistema compreende ainda em um circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, que recebe e processa em tempo real os sinais obtidos pelos sensores de perfil geométrico 10 e de sensores de corrente parasita 20. Os sinais ou dados capturados pelos sensores são enviados para esse circuito de multiplexação, o qual digitaliza os sinais obtidos em tempo real para que sejam, poste-

riormente, avaliados. Uma unidade de interpretação e avaliação recebe os sinais digitalizados e processados pelo circuito eletrônico de multiplexação e identifica defeitos na superfície das peças metálicas por meio de algoritmos de processamento de sinais dedicados à reconstrução, avaliação e classificação automática de defeitos. Essa unidade eletrônica de avaliação pode ser um computador, uma central de processamento de dados ou qualquer unidade eletrônica capaz de executar a avaliação dos dados obtidos, a reconstrução de imagens representando a superfície avaliada da peça metálica e incluindo os defeitos e imperfeições identificados por todos os sensores, bem como a avaliação e a classificação das imperfeições encontradas.

[0073] Os sensores magnéticos dos sensores de perfil geométrico, assim como o codificador, estão ligados à unidade de interpretação e avaliação disposta para associar as medições de cada sensor de perfil geométrico 10 e do encoder. Os sensores de perfil geométrico 10 estão relacionados uns aos outros por coordenadas espaciais de base. Cada sensor de perfil geométrico tem uma direção de trabalho com uma contribuição. Como consequência, a unidade de interpretação e avaliação é capaz de calcular a posição espacial relativa da extremidade de contato 12 de cada sensor de perfil geométrico. De preferência, a unidade de interpretação e avaliação é disposta de forma a emitir um modelo bidimensional ou tridimensional representando a forma da superfície externa da peça metálica inspecionada.

[0074] Cada sensor de corrente parasita 20 está conectado à unidade de interpretação e avaliação. Cada sensor de corrente parasita 20 está associado a uma respectiva posição transversal de referência registrada na unidade de interpretação e avaliação. A unidade de interpretação e avaliação é configurada para associar uma saída medida de cada sensor de corrente parasita 20 à sua respectiva posição transversal de referência e à saída da posição longitudinal gerada pelo

encoder. A unidade de interpretação e avaliação é configurada para emitir um resultado gráfico para o usuário representando a saída gerada pelo sensor de corrente parasita 20 em função da posição longitudinal e posição transversal, sendo essa posição transversal obtida pelas respectivas posições de referência dos sensores de corrente parasita 20. Tal resultado é mostrado na figura 9.

[0075] A presente invenção refere-se também um método de inspeção de peça metálica, realizado pelo sistema de inspeção aqui descrito. Esse método compreende inicialmente uma etapa de realizar um deslocamento relativo entre uma peça metálica a ser inspecionada e a armação do sistema de inspeção de peças metálicas. Durante esse deslocamento relativo, as extremidades de contato 12 dos sensores de perfil geométrico 10 se deslocam deslizando ou rolando sobre a superfície de inspeção da peça metálica, de tal modo que o sensor magnético detecta um fluxo magnético gerado pelo imã devido ao movimento da articulação do respectivo sensor de perfil geométrico 10 com a armação 1. Durante esse deslocamento, é feita a indução de corrente parasita no segmento que está sendo inspecionado da peça metálica, de modo que os sensores de corrente parasita 20 medem a interferência entre os campos magnéticos gerados pelas suas bobinas e o campo magnético gerado pela corrente parasita induzida no segmento inspecionado. Os sensores de perfil geométrico 10 e os sensores de corrente parasita 20 enviam essas medidas analógicas para o circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos.

[0076] O circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos converte os dados analógicos capturados pelos sensores em dados digitais e os envia para a unidade de interpretação e avaliação. Essa unidade de interpretação e avaliação identifica defeitos na superfície da peça metálica com base nos sinais obtidos pelos sensores de perfil geométrico 10 e os sensores de corrente parasita 20.

[0077] Caso sejam usados sensores laser como sensores de perfil geométrico, esses sensores detectam variações na geometria da superfície do segmento inspecionado e enviam para a unidade de interpretação e avaliação.

[0078] Os sinais indicativos de variações na geometria da superfície inspecionada podem ser obtidas ao mesmo tempo por sensores de perfil geométrico 10 compreendendo sensores laser, e por sensores de perfil geométrico 10 compreendendo sensores magnéticos e imãs.

[0079] A unidade de interpretação e avaliação realiza ainda etapas de analisar e padronizar os sinais recebidos do circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, reconstruir visualmente os defeitos através de imagens, analisar parâmetros dos defeitos e classificar os defeitos identificados.

[0080] A identificação dos defeitos na superfície da peça metálica compreende identificar defeitos do perfil geométrico da superfície de inspeção da peça metálica com base nos dados obtidos pelos sensores de perfil geométrico 10, tais como ovalizações, excentricidade, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material e flambagem, entre outros, e identificar defeitos superficiais do tipo trincas, microtrincas, arranhões, dobras, bolsas e defeitos de perda de massa de pequenas dimensões com base nos dados obtidos pelos sensores de corrente parasita 20.

[0081] O método possibilita que os resultados sejam gerados de forma detalhada a partir da combinação dos dados capturados por ambos os tipos de sensores. Deste modo é possível reconstruir a superfície da peça metálica inspecionada com todos os defeitos detectados e suas dimensões.

[0082] Exemplos de reconstruções visuais da estrutura da superfície da peça metálica sendo inspecionada incluindo os defeitos identificados com base na análise dos dados obtidos são mostrados nas figu-

ras 9 e 10. No exemplo mostrado nessas figuras, a superfície externa de uma peça em formato de tubo chamada de “amostra 0” é avaliada. Essa peça apresenta defeitos usinados com as dimensões identificadas na tabela abaixo.

AMOSTRA 0	
Tipo de defeito	Características do defeito
Longitudinal 1	Comprimento = 30,0 mm Largura = 5,0 mm Profundidade = 2,0 mm
Longitudinal 2	Comprimento = 28,0 mm Largura = 2,0 mm Profundidade = 1,5 mm
Transversal 1	Comprimento = 30,0 mm Largura = 5,0 mm Profundidade = 2,0 mm
Transversal 2	Comprimento = 28,0 mm Largura = 2,0 mm Profundidade = 1,5 mm
Circular	Comprimento = 31,0 mm Largura = 36,0 mm Profundidade = 2,0 mm

[0083] De acordo com a tabela acima, os tipos de defeito foram classificados quanto ao seu formato e em relação à direção axial da peça em formato de tubo.

[0084] O gráfico à esquerda da figura 9 mostra os sinais obtidos representativos dos 5 defeitos da tabela acima reconstruídos após processamento na unidade de interpretação e avaliação, onde o eixo z é a amplitude de resposta dos sinais e o plano xy (região x posição) é a área inspecionada da peça. O gráfico à direita da figura 9 ilustra a visão de topo do gráfico à esquerda correspondente ao resultado da

inspeção da peça, mostrando os 5 defeitos detectados na peça. O plano xy gráfico da direita representa a superfície inspecionada da peça.

[0085] Na figura 10 são mostrados graficamente os resultados de diferentes etapas de processamento dos dados relativos aos 5 defeitos mostrados na figura 9, durante a avaliação, reconstrução e classificação desses defeitos, de acordo com uma modalidade da invenção. A primeira linha dessa figura 10 representa a seleção dos defeitos identificados na figura 9, que é feita traçando uma linha de contorno branca sobre as bordas desses defeitos. Após a seleção dos defeitos e o traçado da linha de contorno, é definida uma curva característica representada como uma linha preta sobre os defeitos na segunda linha da figura 10. Em seguida, apenas as linhas de contorno e as curvas característica são usadas para representar os defeitos, conforme mostrados na terceira linha da figura 10. A representação completa dos defeitos mostrada nos gráficos da figura 9 é muito pesada, pois contém grande quantidade de dados e informações. Porém, boa parte desses dados não são necessários para a identificação dos defeitos. O sistema e o método de acordo com a invenção são capazes de extrair os defeitos apenas com base nas informações contidas nas linhas de contorno e nas curvas características de cada defeito. Os defeitos extraídos com base nelas são mostrados na 3ª linha da figura 10. As seguintes características desses defeitos são extraídas a partir das linhas de contorno e das curvas características - comprimento, abertura, profundidade, perímetro e área.

[0086] Portanto, o sistema e o método da presente invenção permitem uma inspeção detalhada e em tempo real de peças metálicas em geral de diversos tamanhos e diâmetros, devido à disposição e posicionamento dos sensores na armação e/ou nos suportes cobrindo toda superfície a ser inspecionada da peça metálica à medida que ocorre o deslocamento relativo entre a armação e a peça metálica. As

hastes 11 associadas às molas também viabilizam o ajuste do sistema a peças metálicas de diferentes diâmetros. A possibilidade de se conformar a armação e/ou os suportes às diferentes geometrias e seções de peças a serem inspecionadas proporciona grande flexibilidade ao sistema e ao método da invenção.

[0087] O sistema e o método de acordo com a invenção, associando os resultados dos dois tipos diferentes de sensores que são complementares, permitem que sejam identificados defeitos sobre a superfície da peça metálica de diferentes naturezas, tanto decorrentes de imperfeições no formato e na geometria da superfície da peça metálica como de trincas e fissuras e outros defeitos de perda de massa, em qualquer posição da superfície da peça metálica.

[0088] O uso de sensores de corrente parasita 20, capazes de detectar defeitos de dimensões mínimas possibilita uma precisão maior na investigação da superfície da peça metálica.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de inspeção da superfície de peças metálicas, caracterizado pelo fato de que compreende:

uma armação (1);

uma pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) fixados à armação (1) de forma espaçada;

uma pluralidade de sensores de corrente parasita (20) fixados à armação (1) de forma espaçada e voltados para a superfície da peça metálica a ser inspecionada;

sendo que, durante o funcionamento do sistema, há um deslocamento relativo entre a armação (1) e a peça metálica inspecionada;

um circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, que recebe e processa em tempo real os sinais obtidos pela pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) e de sensores de corrente parasita (20), e

uma unidade de interpretação e avaliação que recebe os sinais processados pelo circuito eletrônico de multiplexação e identifica defeitos na superfície das peças metálicas.

2. Sistema de inspeção, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a armação (1) compreende pelo menos um suporte de sensor de perfil geométrico (13) ao qual são acoplados os sensores de perfil geométrico (10), sendo que o suporte de sensor de perfil geométrico (13) apresenta uma seção compatível com a seção transversal do segmento inspecionado da peça metálica.

3. Sistema de inspeção, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que pelo menos alguns sensores de perfil geométrico (10) são fixados articuladamente à armação (1) e compreendem:

uma haste (11) com um primeiro lado articuladamente aco-

plado a um dentre a armação (1) e o suporte de sensor de perfil geométrico (13), e um segundo lado acoplado com a extremidade de contato (12),

um imã sendo fixado ao primeiro lado da haste (11) acoplado à armação (1),

sendo que a extremidade de contato (12) de cada sensor de perfil geométrico (10) se desloca sobre a superfície de inspeção da peça metálica durante o deslocamento relativo entre a peça metálica e a armação (1).

4. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que um rolamento é acoplado rotativamente à extremidade de contato (12) do sensor de perfil geométrico (10), sendo que o rolamento rola sobre todo o comprimento do segmento a ser inspecionado da superfície da peça metálica.

5. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que pelo menos alguns sensores de perfil geométrico (10) são um dentre um sensor laser de ponto e um sensor laser de linha, sendo esses sensores laser acoplados a um dentre a armação (1) e o suporte de sensor de perfil geométrico (13).

6. Sistema de inspeção, de acordo com a reivindicação 4 ou 5, caracterizado pelo fato de que o sensor de perfil geométrico (10) compreende ainda um encoder acoplado ao rolamento, sendo que o encoder determina a localização longitudinal das medições realizadas na peça inspecionada com base no deslocamento do rolamento sobre a superfície da peça inspecionada, e envia os dados correspondentes à localização longitudinal das medições ao circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos.

7. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das

reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma mola é acoplada ao primeiro lado de cada haste (11) e a uma dentre a armação (1) e o suporte de sensor de perfil geométrico (13).

8. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que cada sensor de corrente parasita (20) compreende uma sapata (21) e pelo menos duas bobinas (22) acopladas à sapata,

sendo que cada sapata (21) é fixada a uma dentre a armação (1) e o suporte de sensor de perfil geométrico (13), ficando em uma posição próxima à superfície da peça metálica durante o deslocamento relativo entre a peça metálica e a armação (1), e

cada sensor de corrente parasita (20) mede a interferência entre os campos magnéticos gerados pelas bobinas e o campo magnético gerado por uma corrente parasita induzida no segmento inspecionado da peça metálica.

9. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que a armação (1) compreende pelo menos um suporte de sensor de corrente parasita (23) ao qual são acoplados os sensores de corrente parasita (20).

10. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que o posicionamento e a quantidade de sensores de corrente parasita (20) e de sensores de perfil geométrico (10) utilizados são definidos com base em uma resolução e uma redundância predeterminadas e cada um dos sensores de corrente parasita (20) e dos sensores de perfil geométrico (10) é montado em um braço articulado de forma independente.

11. Sistema de inspeção, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que os sensores de corrente parasita (20) e os sensores de perfil geométrico de superfície (10) são regularmente distribuídos em pelo menos duas dimensões, definindo pelo

menos duas fileiras, e compreendendo um deslocamento entre os sensores próximos de duas fileiras sequenciais.

12. Sistema de inspeção, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o deslocamento é inferior à largura de um sensor de correntes parasitas unitário.

13. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que o circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos converte os sinais obtidos pela pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) e de sensores de corrente parasita (20) em sinais digitais e envia para a unidade de interpretação e avaliação, e

a unidade de interpretação e avaliação analisa e padroniza os sinais, reconstrói os defeitos, analisa parâmetros dos defeitos e classifica os defeitos identificados.

14. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, caracterizado pelo fato de que os sensores de perfil geométrico (10) identificam defeitos do perfil geométrico da superfície de inspeção da peça metálica; e

os sensores de corrente parasita (20) identificam defeitos do tipo trincas, microtrincas, arranhões e defeitos de perda de massa de pequenas dimensões.

15. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de que os sensores de corrente parasita (20) atuam em uma dentre configuração absoluta, configuração diferencial, configuração pick-up e configuração PEC (Pulsed Eddy Current).

16. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, caracterizado pelo fato de que os sensores magnéticos dos sensores geométricos de superfície são um dentre sensor Hall, sensor do tipo GMR (Giant Magneto Resistence) e sensor

do tipo SQUID (Super Conducting Quantum Interference Device).

17. Sistema de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, caracterizado pelo fato de que compreende uma pluralidade de hastes acopladas à armação (1), sendo que em cada haste está acoplado um sensor de perfil geométrico (10) e um sensor de corrente parasita (20), em que o sensor de corrente parasita (20) fica disposto na extremidade de contato (12) do sensor de perfil geométrico.

18. Método de inspeção de pelo menos um segmento de geometria constante da superfície de peças metálicas, realizado por um sistema como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 17, caracterizado pelo fato de que compreende

realizar um deslocamento relativo entre a armação (1) do sistema e a peça metálica inspecionada, e durante o deslocamento:

- identificar defeitos de perfil geométrico da superfície de inspeção da peça metálica com base nos dados obtidos pelos sensores de perfil geométrico (10), e

- identificar defeitos superficiais com base nos dados obtidos pelos sensores de corrente parasita (20).

19. Método de inspeção de peças metálicas, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que

durante o deslocamento relativo entre a armação (1) do sistema e a peça metálica inspecionada

a.1) os sensores de perfil geométrico (10) obtém medidas relativas à geometria da superfície inspecionada da peça metálica,

a.2) uma corrente parasita é induzida no segmento inspecionado da peça metálica,

a.3) os sensores de corrente parasita (20) medem a interferência entre os campos magnéticos gerados pelas bobinas e o campo magnético gerado pela corrente parasita induzida no segmento inspe-

cionado;

a.4) os sensores de perfil geométrico (10) e os sensores de corrente parasita (20) enviam essas medidas analógicas para o circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos;

b) o circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos converte os dados analógicos capturados na etapa a.4) em dados digitais e os envia para a unidade de interpretação e avaliação;

c) a unidade de interpretação e avaliação identifica defeitos na superfície da peça metálica com base nos sinais obtidos pelos sensores de perfil geométrico (10) e pelos sensores de corrente parasita (20).

20. Método de inspeção de peças metálicas, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que

na etapa a.1), as extremidades de contato (12) de pelo menos alguns sensores de perfil geométrico (10) se deslocam sobre a superfície de inspeção da peça metálica, sendo que o sensor magnético detecta um fluxo magnético gerado pelo imã no movimento da articulação do respectivo sensor de perfil geométrico (10) com a armação (1) durante esse deslocamento.

21. Método de inspeção de peças metálicas, de acordo com a reivindicação 19 ou 20, caracterizado pelo fato de que

na etapa a.1), os sensores laser identificam uma variação na geometria da superfície da peça metálica inspecionada e enviam as medidas obtidas diretamente para a unidade de interpretação e avaliação.

22. Método de inspeção de peças metálicas, de acordo com qualquer uma das reivindicações 19 a 21, caracterizado pelo fato de que a unidade de interpretação e avaliação analisa e padroniza os sinais recebidos do circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletro-

magnéticos, reconstrói os defeitos, analisa parâmetros dos defeitos e classifica os defeitos identificados.

23. Método de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 18 a 22, caracterizado pelo fato de que os defeitos superficiais compreendem trincas, microtrincas, arranhões, dobras e bolsas, e os defeitos de perfil geométrico compreendem ovalizações, excentricidade, depressões, amassamento, empenamento, depósito de material e flambagem.

24. Método de inspeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 18 a 23, caracterizado pelo fato de que a etapa de realizar um deslocamento relativo entre a armação (1) do sistema e a peça metálica inspecionada compreende um dentre:

- deslocar a peça metálica internamente à armação do sistema, para a inspeção da superfície externa da peça metálica;

- deslocar a armação do sistema externamente à peça metálica, para a inspeção da superfície externa da peça metálica;

- deslocar a peça metálica externamente à armação do sistema, para a inspeção da superfície interna da peça metálica; e

- deslocar a armação do sistema internamente à peça metálica, para a inspeção da superfície interna da peça metálica.

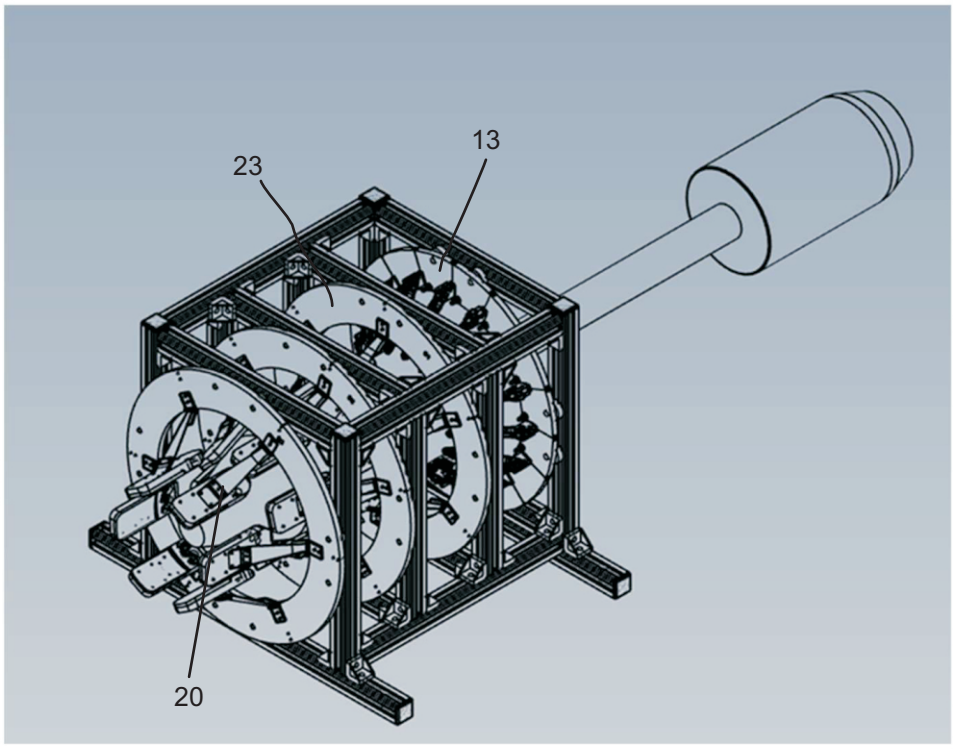


FIG. 1

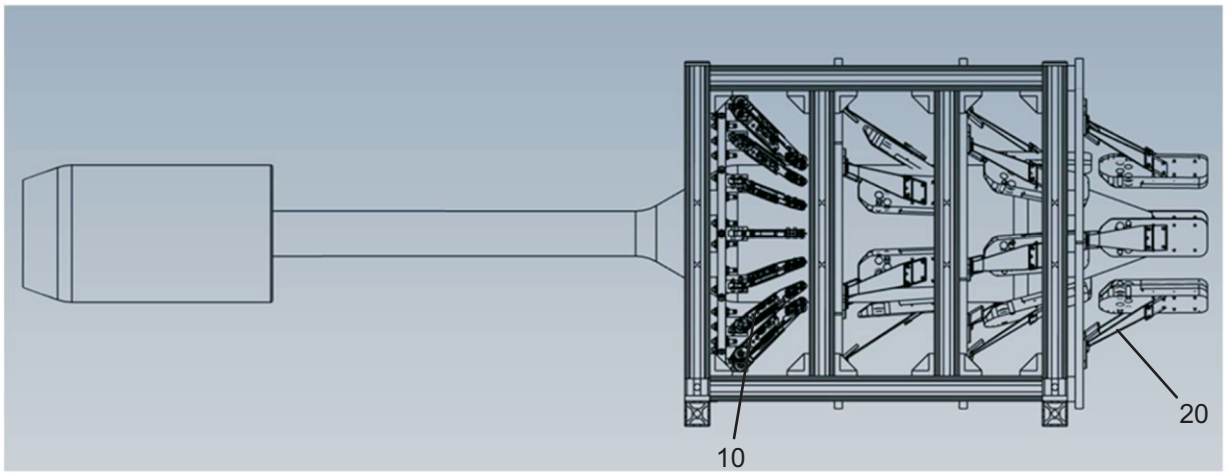


FIG. 2

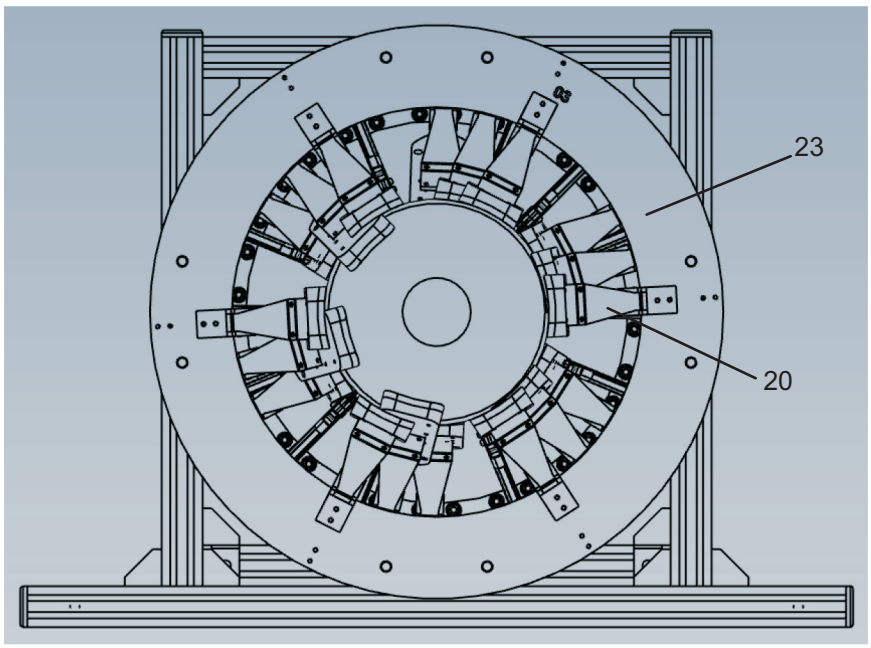


FIG. 3

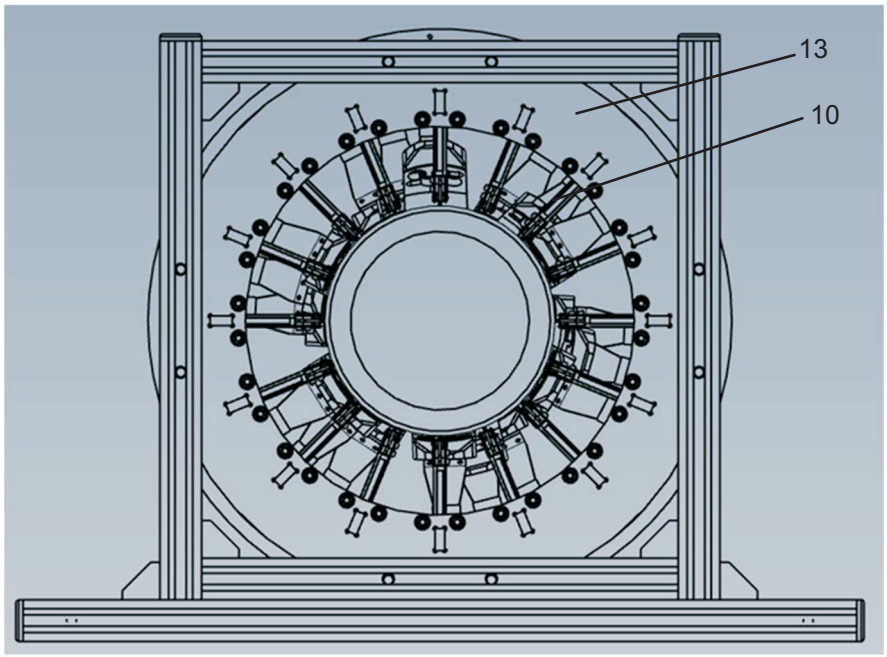


FIG. 4

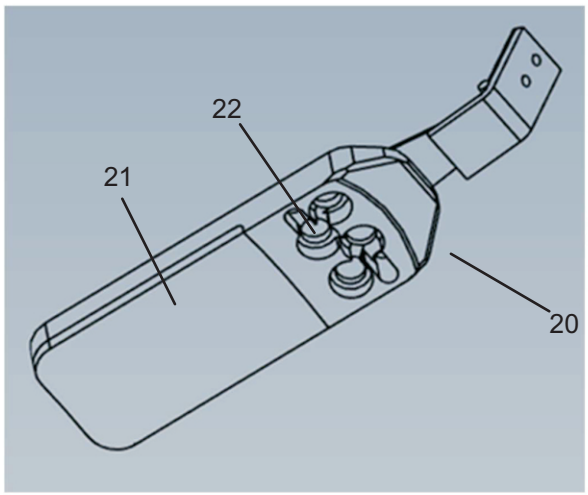


FIG. 5

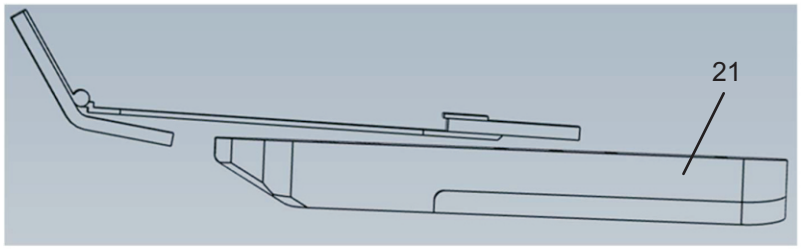


FIG. 6

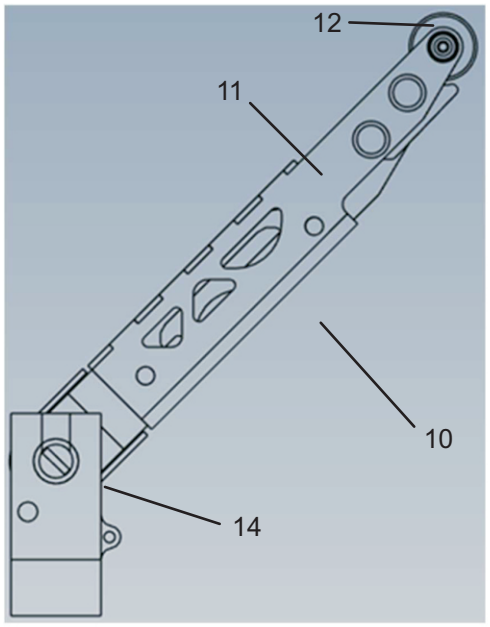


FIG. 7

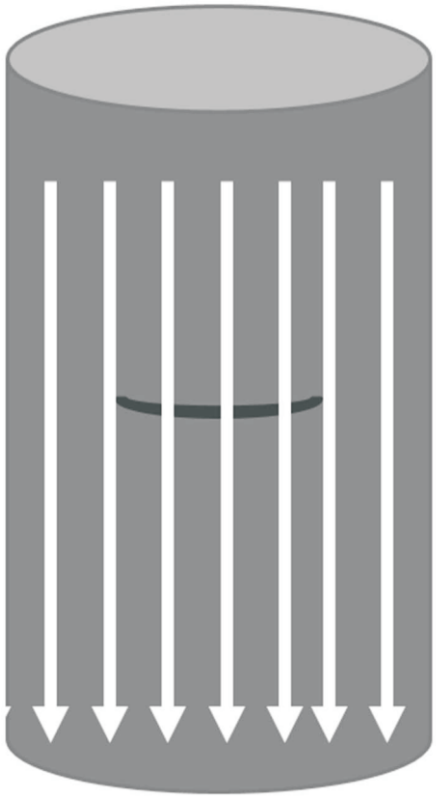


FIG. 8

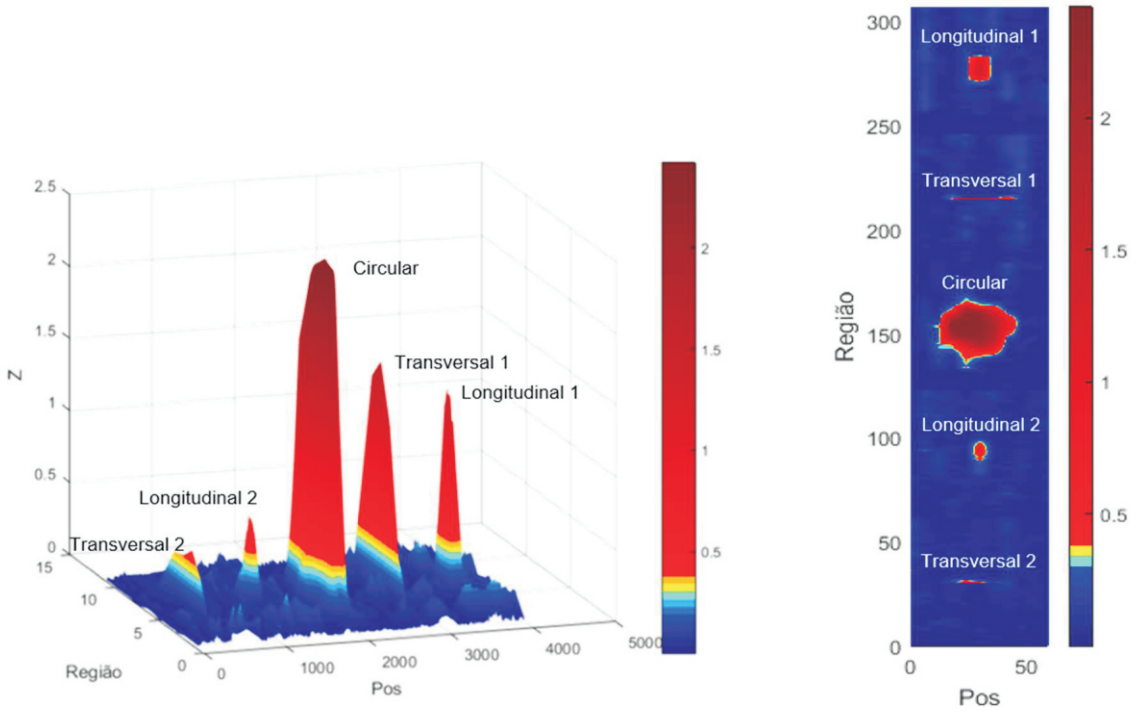

Circular
Transversal 1
Longitudinal 1
Longitudinal 2
Transversal 2
Z
Região
Pos
Longitudinal 1
Transversal 1
Circular
Longitudinal 2
Transversal 2
Região
Pos

FIG. 9

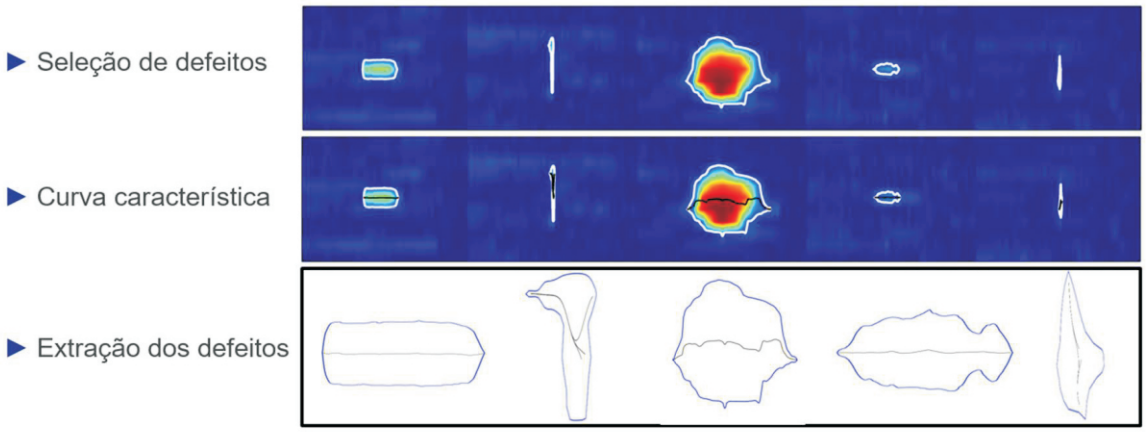

Seleção de defeitos
Curva característica
Extração dos defeitos

FIG. 10

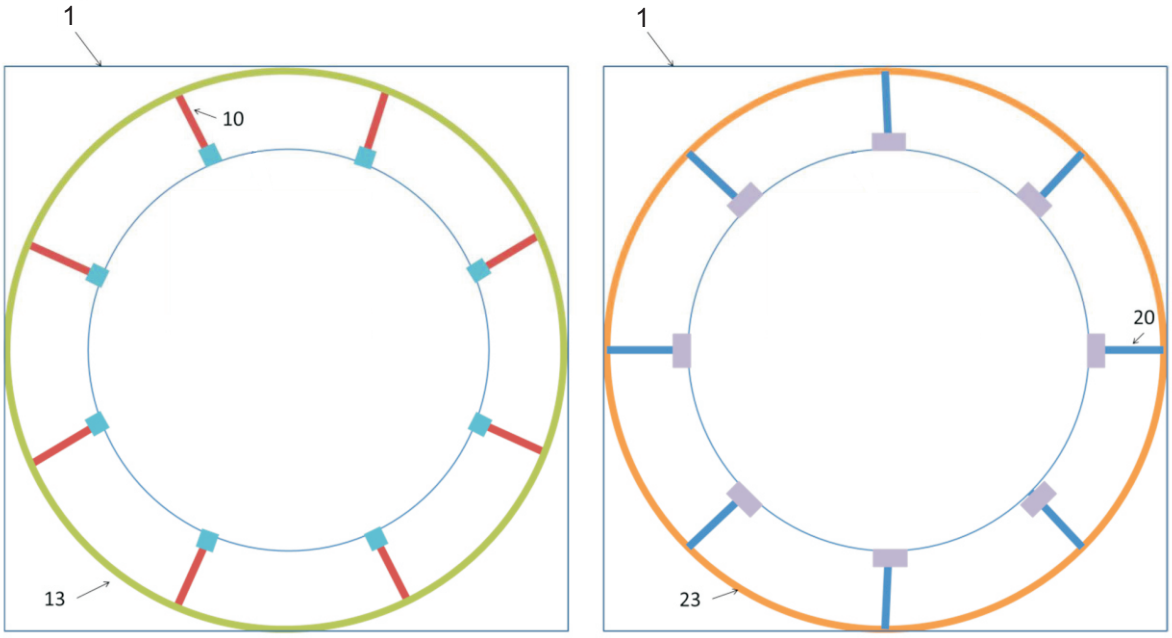

1
10
13
1
20
23

FIG. 11

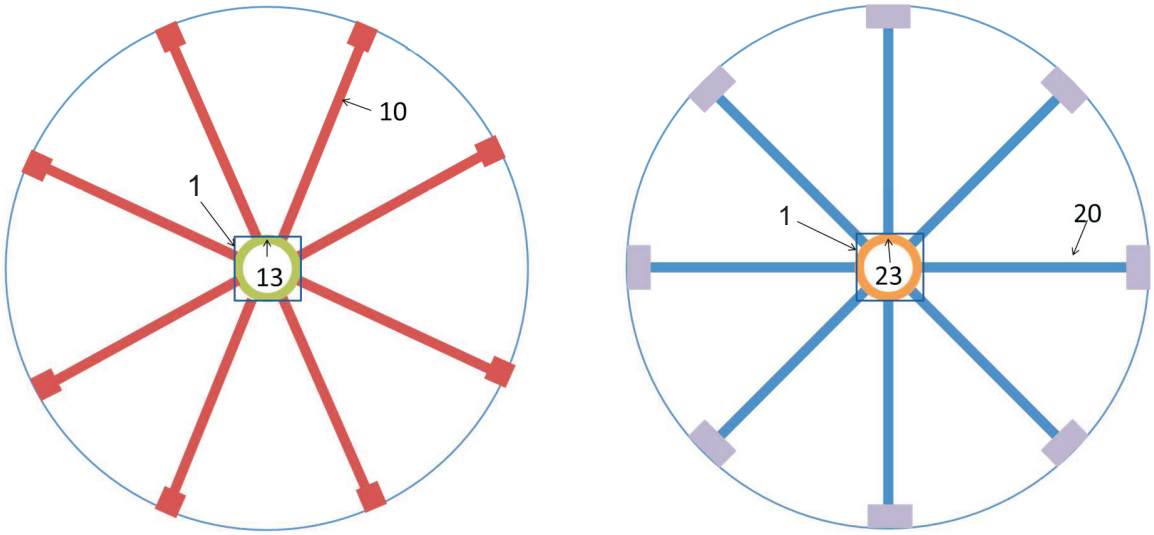


FIG. 12

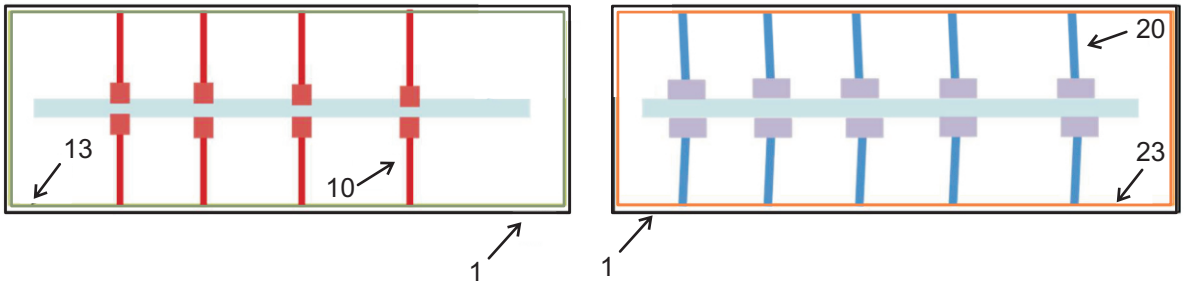


FIG. 13

RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA E MÉTODO DE INSPEÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS".**

A presente invenção refere-se a um sistema de inspeção da superfície de peças metálicas, no qual uma pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) fixados a uma armação (1) de forma espaçada, uma pluralidade de sensores de corrente parasita (20) fixados a uma armação (1) de forma espaçada e voltados para a superfície da peça metálica a ser inspecionada; sendo que, durante o funcionamento do sistema, há um deslocamento relativo entre a armação (1) e a peça metálica inspecionada; um circuito eletrônico de multiplexação de sinais eletromagnéticos, que recebe e processa em tempo real os sinais obtidos pela pluralidade de sensores de perfil geométrico (10) e de sensores de corrente parasita (20); e uma unidade de interpretação e avaliação que recebe os sinais processados pelo circuito eletrônico de multiplexação e identifica defeitos na superfície das peças metálicas. A invenção refere-se também a um método de inspeção de pelo menos um segmento de geometria constante da superfície de peças metálicas, realizado por esse sistema, que identifica defeitos de perfil geométrico com base nos dados obtidos pelos sensores de perfil geométrico (10), e identifica defeitos superficiais com base nos dados obtidos pelos sensores de corrente parasita (20).