República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

BR102022011886A2

(21) BR 102022011886-8 A2

(22) Data do Depósito: 15/06/2022

(43) Data da Publicação Nacional: 26/12/2023

(54) Título: PROCESSO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO LINEAR PARA ARAMES DA ARMADURA DE TRAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS

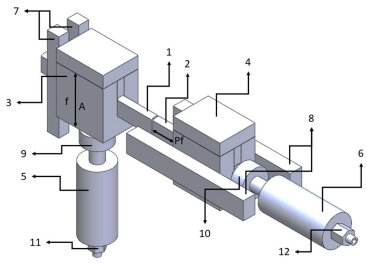
(51) Int. Cl.: B23K 20/12.

(52) CPC: B23K 20/12.

(71) Depositante(es): PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS.

(72) Inventor(es): GIOVANI DALPIAZ; RICARDO REPPOLD MARINHO; CARLOS EDUARDO FORTIS KWIETNIEWSKI; MARCELO TORRES PIZA PAES; JONAS TRENTO BUZZATTI; FABIANO MATTEI; GUILHERME SILVA KIECKOW; GUILHERME VIEIRA BRAGA LEMOS; AFONSO REGULY; NICOLE MONIQUE BRUM WALTER; DIOGO TRENTO BUZZATTI.

(57) Resumo: PROCESSO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO LINEAR PARA ARAMES DA ARMADURA DE TRAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS. A presente invenção descreve um processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis compreendendo as seguintes etapas: preparação do arame antes da soldagem; estágio inicial ou fase inicial; estágio de transição ou fase de transição; fase de atrito estável; e fase de soldagem por forjamento. O referido processo de soldagem é realizado em fase sólida e não utiliza nem necessita de qualquer tipo de ferramenta não consumível ou de material de adição para promover a união das partes.



PROCESSO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO LINEAR PARA ARAMES DA ARMADURA DE TRAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS

Campo da invenção

[001] A presente invenção pertence ao campo técnico de soldagem por fricção (*Friction Stir Welding* – FSW), mais especificamente na área de tecnologias de dutos e *risers*.

[002] A presente invenção descreve um processo de soldagem por fricção linear em arames da armadura de tração de dutos flexíveis.

Fundamentos da invenção

[003] A necessidade de transportar produtos combustíveis líquidos ou gasosos entre dois pontos gera a demanda e oportunidade da implementação de um projeto de dutos. Em face da concentração de descobertas de grandes campos produtores de hidrocarbonetos nos oceanos, os dutos submarinos vêm assumindo grande importância como forma de garantir a produção desses campos. A importância das estruturas flexíveis tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. As principais razões são, primeiramente, o desenvolvimento tecnológico e, em segundo lugar, as aplicações diretas, tendo as estruturas rígidas e flexíveis um papel fundamental na extração de óleo e gás do fundo do solo marinho. Portanto, torna-se imprescindível o entendimento dessas estruturas, de modo a otimizar sua aplicação e utilização com segurança em um dado desenvolvimento de campo petrolífero.

[004] A armadura de tração em um duto flexível é formada por diversos fios de aço, dispostos helicoidalmente com a função de resistir às forças axiais, à pressão interna e à torção. Os arames que compõe a camada da armadura de tração

são fabricados em aço carbono, onde a microestrutura é predominantemente perlita fina. Os arames são moldados por laminação seguido de trefilação, a quente ou a frio, e podem ter como geometria final diversas formas. O teor de carbono nestes arames varia em função das suas aplicações. Quando o duto é empregado em ambiente sem a presença de gases dissolvidos, como por exemplo H_2S e CO_2, aços com alto teor de carbono são utilizados e o limite de resistência mecânica alcança valores de 1.200 a 1.500 MPa. Por outro lado, em ambientes quimicamente agressivos, a utilização de aços de baixo e médio carbono (0,15 a 0,50% de carbono) é indicada e a resistência à tração é de no máximo 900 MPa.

[005] O fio assim produzido é enrolado em bobinas visando à sua posterior utilização na produção de camadas de reforço para os dutos flexíveis. Apesar dos comprimentos unitários dos fios assim produzidos serem muito grandes, é importante que eles possam ser conectados por soldagem durante a operação de reforço no curso da produção da mangueira.

[006] Diversos processos de soldagem para a emenda de aço já são conhecidos, dentre eles solda de topo por caldeamento, solda de topo com eletrodo ou arame, por transpasse com cordões de solda longitudinais ou com barras justapostas e soldadas, entre outros.

[007] Na área petrolífera, a união dos arames das armaduras de tração dos dutos flexíveis é, normalmente, realizada através do procedimento de soldagem de topo por resistência (*Upset Weld* - UW).

[008] Os requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem nas etapas-chave de fabricação dos

dutos flexíveis são definidos segundo a norma API 17J. Especificamente para as camadas metálicas, isto é, para arames planos, redondos e em diferentes formatos, o fabricante é obrigado a executar inspeção visual, por partícula magnética, ensaios de tração e testes de dobramento para comprovar a qualidade da solda. No caso de materiais para trabalho em serviço *sour*, são feitas ainda exigências adicionais às amostras soldadas. Devendo o fabricante apresentar também a macrografia e o teste de dureza realizada em uma amostra que foi soldada.

[009] A soldagem de topo por resistência é aplicada quando se deseja unir dois ou mais metais. Ela consiste na aplicação de corrente elétrica através de eletrodos, que por sua vez exercem pressão sobre os materiais a serem soldados. É um tipo de solda no qual as duas superfícies de contato devem possuir a mesma área para que seja possível que toda a seção esteja submetida à mesma densidade de corrente e ao mesmo aquecimento. Uma desvantagem deste método de soldagem está relacionada à necessidade de soldar as pontas dos fios de metal usando uma forte corrente elétrica, normalmente com uma intensidade superior a 5.000 amperes, demandando um consumo elevado de energia. Outra desvantagem deste processo de soldagem é a suscetibilidade a defeitos inerentes à fusão do material envolvido nesta solda, já que a temperatura deve atingir 1300°C no núcleo de solda para obter a fusão adequada.

[0010] Os defeitos que podem ocorrer neste tipo de soldagem são semelhantes aos observados em *electric welded tube (penetrator, cold weld)* ou aqueles observados em *gas pressure welded joints (flat spot)*. Óxidos e inclusões podem

ser formados e permanecerem na superfície da solda sem serem expelidos durante o forjamento. Flashes excessivamente grandes podem ser formados e podem ocasionar trincas de resfriamento. A formação de microconstituintes do tipo martensita-austenita, característico de altas taxas de resfriamento, são também comuns de acontecer. Tendo em vista o aprisionamento de elementos austenitizantes (principalmente carbono na forma intersticial) na austenita prévia e a formação de uma solução sólida supersaturada, quando combinada com altas taxas de resfriamento, isto impede que ocorram transformações difusionais. Com a finalidade de evitar os problemas mencionados acima, aplica-se um tratamento térmico de normalização pós soldagem. De preferência, as temperaturas de normalização da solda devem ser maiores que as do tratamento de revenido do metal base e menores que a temperatura do início da austenitização, mais especificamente menor que 20 a 30°C em relação a AC1.

[0011] Muitos desses processos e problemas são abordados em documentos de patentes que fazem parte do estado da técnica.

[0012] A patente US 5.922.149, de titularidade do Instituto Francês de Petróleo, de 1995 e já em domínio público, por exemplo, revela um método para produzir arames de aço utilizados em armaduras de tubos flexíveis de grandes comprimentos. Para obter esses grandes comprimentos, os arames são soldados para atingir o comprimento desejado e os processos de soldagem utilizados são os de indução e de resistência com compressão axial, com tratamento de revenimento posterior à soldagem.

[0013] O documento US 2010/059488 (correspondente BR PI

0809092-0) de 2007 cujo requerente é NKT Flexibles I/S descreve um método de produção de uma tira de aço inoxidável duplex para uma camada de blindagem de um tubo flexível. O método compreende as etapas de: prover pelo menos duas peças de aço inoxidável duplex cada uma tendo uma face de extremidade; soldar por resistência a face de extremidade das duas peças de aço inoxidável duplex entre si para formar uma seção de interface soldada; e prover um resfriamento controlado da dita seção de interface soldada. O tipo de soldagem por resistência utilizado é o de topo dupla e de centelhamento.

[0014] O documento WO 2020/208040 de 2019 cujo requerente é Technip France revela um método de fabricação de uma armadura de tração para uma camada metálica para reforço mecânico de um tubo flexível de transporte de fluido. O método possui as etapas de: fornecer um arame de metal compreendendo pelo menos uma primeira e uma segunda seção a serem unidas em suas extremidades por soldagem; e recozimento térmico da solda. O método compreende ainda antes da etapa de recozimento térmico, uma etapa de pré-tratamento térmico de pelo menos parte da solda, sendo a etapa de pré-tratamento térmico uma etapa de refusão ou uma etapa de austenitização. O processo de soldagem utilizado é o de soldagem por resistência.

[0015] A patente US 9.541.224 de titularidade da Global Tubing, LLC, depositada em 2013, revela um método para fabricar um tubo espiralado para uma camada de blindagem de um tubo flexível utilizando um método de soldagem por fricção e mistura (*Friction stir welding process*). O método compreende as etapas de: (a) alinhar as extremidades de duas

faixas ou folhas de metal base de modo que uma junta de solda seja estabelecida entre elas; (b) fixar a lateral de uma primeira faixa de metal base em uma superfície, formando uma primeira interface; (c) fixar a lateral de uma segunda faixa de metal base em uma superfície, formando uma segunda interface; (d) executar uma primeira etapa de soldagem por fricção e mistura, sendo a referida etapa de soldagem transversal à primeira interface, à segunda interface e à junta. O método utiliza uma ferramenta rotativa em uma primeira direção de rotação e movimentando em uma primeira direção longitudinal, causando na referida junta uma deformação plástica temporária, onde um primeiro e um segundo defeito lateral são formados na primeira etapa de soldagem por fricção e mistura; (e) executar uma segunda etapa de soldagem por fricção e mistura para eliminar um primeiro defeito lateral formado na primeira etapa da soldagem; (f) executar uma terceira etapa de soldagem por fricção e mistura para eliminar um segundo defeito lateral formado na primeira etapa de soldagem; e (g) resfriar a junta soldada.

[0016] O processo de soldagem por fricção e mistura (FSW process) descrito no referido documento utiliza uma ferramenta (pino) não consumível que permite que dois ou mais materiais sejam plasticamente deformados e fisicamente misturados. No entanto, o referido processo apresenta como desvantagem o fato de tais ferramentas não consumíveis sofrerem desgaste ao longo do tempo influenciando na qualidade da junta soldada.

[0017] A fim de resolver este problema a presente invenção propõe um processo de soldagem por fricção linear para unir arames da armadura de tração de dutos flexíveis.

O processo de soldagem por fricção linear proposto não utiliza nem necessita de qualquer tipo de ferramenta ou de material de adição para promover a união das partes, caracterizando, desta forma, uma economia de custos adicionais com ferramentas consumíveis no processo e também apresenta uma inovação na técnica de soldagem de arames de armaduras de tração de dutos flexíveis.

[0018] Assim, fica claro que os documentos citados e comentados acima não utilizam, não descrevem e nem se beneficiam das possíveis vantagens técnicas do processo de soldagem descrito na presente invenção. Portanto, é possível notar que o estado da técnica carece de um processo de soldagem por fricção linear para unir arames da armadura de tração de dutos flexíveis, como detalhado a seguir.

Sumário da invenção

[0019] A presente invenção tem como objetivo principal prover um processo de soldagem por fricção linear para unir arames da armadura de tração de dutos flexíveis que seja simples em operação, estável em qualidade de juntas soldadas, com alta produtividade de soldagem e economia de energia e de peças.

[0020] Assim de forma a alcançar tal objetivo, a presente invenção propõe um processo de soldagem por fricção linear para unir arames da armadura de tração de dutos flexíveis compreendendo as seguintes etapas: preparação do arame antes da soldagem (S1); estágio inicial ou fase inicial (S2); estágio de transição ou fase de transição (S3); fase de atrito estável (S4); e fase de soldagem por forjamento (S5).

[0021] O referido processo de soldagem é realizado em fase sólida e não utiliza nem necessita de qualquer tipo de

ferramenta não consumível (pino) ou de material de adição para promover a união das partes.

Breve descrição dos desenhos

[0022] A descrição detalhada apresentada adiante faz referência às figuras anexas e seus respectivos números de referência, representando as modalidades da presente invenção.

[0023] A Figura 1 é uma vista isométrica da estrutura principal da máquina de solda por fricção linear de seções de arames de armadura de tração de dutos flexíveis.

[0024] A Figura 2 é uma vista frontal da estrutura principal da máquina de solda por fricção da presente invenção na fase inicial.

[0025] A Figura 3 é uma vista frontal da estrutura principal da máquina de solda por fricção da presente invenção na fase de transição.

[0026] A Figura 4 é uma vista frontal da estrutura principal da máquina de solda por fricção da presente invenção na fase de atrito estável.

[0027] A Figura 5 é uma vista frontal da estrutura principal da máquina de solda por fricção da presente invenção na fase de soldagem por forjamento.

[0028] A Figura 6 é um gráfico de temperatura versus tempo com um pico de temperatura medido na superfície das seções de arames da armadura de tração de dutos flexíveis durante o processo de soldagem por fricção linear da presente invenção.

[0029] A Figura 7 mostra os resultados da macrografia realizada na mesma amostra (MFL-06) de arames de armadura de tração de dutos flexíveis soldados conforme a presente

invenção antes (A) e depois (B) de tratada termicamente.

[0030] A Figura 8 mostra os perfis de microdureza da amostra MFL-06 de arames de armadura de tração de dutos flexíveis soldados conforme a presente invenção antes e depois de tratada termicamente.

[0031] A Figura 9 mostra os gráficos de tensão versus deformação resultantes dos ensaios de tração realizados em amostras MFL-06 de arames de armadura de tração de dutos flexíveis soldados conforme a presente invenção.

[0032] A figura 10 mostra um ensaio com partículas magnéticas em uma amostra MFL-06 de arames da armadura de tração de dutos flexíveis soldados conforme esta invenção.

[0033] A figura 10A apresenta a amostra com a aplicação das partículas magnéticas em sua superfície.

[0034] A Figura 10B apresenta a amostra após a aplicação do removedor de partículas magnéticas

[0035] A Figura 11 é um gráfico dos dados dos parâmetros de controle ao longo do tempo durante a soldagem por fricção linear da presente invenção de duas seções de arames da armadura de tração de dutos flexíveis utilizando o processo conforme esta invenção.

[0036] A Figura 12 mostra o resultado da macrografia de uma junta soldada por fricção linear, conforme processo da presente invenção, tendo como material base a liga USN N08830.

[0037] A Figura 13 mostra o resultado da macrografia de uma junta soldada por fricção linear, conforme processo da presente invenção, tendo como material base a liga USN N06625.

[0038] A Figura 14 mostra o resultado da macrografia de

uma junta soldada por fricção linear, conforme processo da presente invenção, tendo como material base aço inoxidável superduplex.

[0039] A Figura 15 apresenta as diversas camadas metálicas e não metálicas de um modelo de duto flexível, onde pode ser observado que as duas camadas metálicas mais externas formam as armaduras de tração.

Descrição da invenção

[0040] A presente invenção descreve um processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis simples em operação, estável em qualidade das juntas soldadas, de alta produtividade de soldagem e economia de energia. O processo é realizado no estado sólido evitando assim a fusão do material e requer um tratamento térmico pós soldagem envolvendo temperaturas mais baixas.

[0041] Conforme mostrado nas FIG. 1 à FIG. 5, a presente invenção fornece um processo de soldagem por fricção linear de seções de arames da armadura de tração de dutos flexíveis compreendendo as seguintes etapas:

S1 - Preparação do arame antes da soldagem:

[0042] A primeira seção de arame de armadura de tração (1) é fixada ao dispositivo de fixação oscilante (3) da máquina de solda e a segunda seção de arame de armadura de tração (2) é fixada ao dispositivo de fixação linear (4) da máquina de solda. As duas seções de arames de armadura de tração (1, 2) são centralizadas com o ajuste dos dois dispositivos de fixação, oscilante (3) e linear (4), formando um par de fricção linear. A primeira seção de arame de armadura de tração (1) e a segunda seção de arame de armadura de tração (2) têm a mesma estrutura e a face da extremidade

da primeira seção de arame (1) é perpendicular à extensão da própria primeira seção de arame (1). O dispositivo de fixação oscilante (3) é capaz de prender a primeira seção de arame (1) e o atuador servo controlado oscilante (5), acoplado a um sensor de aquisição de força (9) e a um sensor de aquisição de deslocamento (11), executa vibração recíproca linear no dispositivo de fixação oscilante (3) através das guias lineares verticais (7). A linha reta no movimento recíproco linear pode ser uma linha reta horizontal ou uma linha reta vertical, ou uma linha reta oblíqua em um certo ângulo. O dispositivo de fixação linear (4) é capaz de agarrar a segunda seção de arame (2) e o atuador servo controlado linear (6), acoplado a um sensor de aquisição de força (10) e a um sensor de aquisição de deslocamento (12), fornece a força para pressão de atrito (Pf) e para a pressão invertida ou de retorno através das guias lineares horizontais (8). Um controle remoto da máquina de soldagem por fricção é capaz de permitir controle sobre a amplitude e frequência de movimento do atuador servocontrolado oscilante (5), sobre um deslocamento máximo pré-definido do atuador servocontrolado linear (6), sobre a força máxima aplicada pelo atuador servocontroldo linear (6) na segunda seção de arame, sobre a taxa de aplicação da força no atuador servo controlado linear (6), sobre a taxa de desaceleração do movimento oscilante do atuador servocontrolado oscilante (5)

S2 - Estágio inicial ou fase inicial:

[0043] A primeira seção de arame (1) alterna linearmente de posição sob a ação de um atuador servo controlado oscilante (5). Quando a amplitude e a frequência predeterminadas são alcançadas, a segunda seção de arame (2)

é movida em direção a primeira (1) sob a ação de um atuador servo controlado linear (6). A superfície de soldagem da primeira seção de arame (1) é colocada em contato com a superfície de soldagem da segunda seção de arame (2) através de uma força axial, gerando tensões compressivas na área de contato. Neste estágio, tanto a superfície de soldagem da primeira seção de arame (1) quanto à superfície de soldagem da segunda seção de arame (2) possuem muitas irregularidades, impurezas (por exemplo, filme de óxido e ferrugem) e asperezas, gerando calor por fricção.

S3 - Estágio de transição ou fase de transição:

[0044] Quando o calor produzido pela fricção, durante a etapa anterior (S2), for suficiente para aumentar a ductilidade e promover a plastificação na interface, uma grande quantidade de partículas desgastadas da superfície (asperidades) começam a ser expelidas da interface. A zona afetada pelo calor se expande marcando o início da etapa S3. A verdadeira área de contato é considerada 100% da área da seção transversal e a camada deformada plasticamente e formada entre os dois materiais não é mais capaz de suportar a carga axial. O fenômeno de união por fricção e cisalhamento refere-se ao fenômeno de que após as superfícies metálicas locais no estado plástico de alta temperatura serem soldadas umas às outras, elas são cisalhadas por força de cisalhamento linear e transicionadas mutuamente, ou seja, a força de cisalhamento corta e faz a transição entre si. No fenômeno de ligação por atrito e cisalhamento, a primeira seção de arame (1) e a segunda seção de arame (2) não são significativamente encurtadas na direção axial.

S4 – Fase de atrito estável:

[0045] Quando o metal plástico em alta temperatura na etapa S3 uniformiza toda a superfície de atrito, depois que o óxido é completamente extrudado, a temperatura da superfície de atrito continua a aumentar sob a ação contínua da alta frequência, do movimento recíproco linear e da força de atrito. O fenômeno de ligação é reduzido e o fenômeno de ação molecular é intensificado. Sob a ação de vibração linear e fricção, o metal da camada de deformação plástica em alta temperatura é extrudado da superfície de atrito formando uma borda de flash e é constantemente suprido pelo metal em alta temperatura perto da interface e que está em um estado de equilíbrio dinâmico. Tanto a primeira seção de arame (1) quanto à segunda seção de arame (2) têm um encurtamento significativo na direção axial. O encurtamento na direção axial é exponencial em relação ao tempo de fricção.

S5 – Fase de soldagem por forjamento:

[0046] Quando os valores de encurtamento axial da primeira seção de arame (1) e da segunda seção de arame (2) na etapa S4 atingem uma quantidade adequada e a distribuição de temperatura e deformação plástica da zona de soldagem atingem um nível apropriado, o atuador servo controlado linear (6) é interrompido e as duas seções de arames (1, 2) são retornadas ao centro. A virada é aplicada rapidamente e a pressão de reversão é mantida. O metal da zona de solda forma uma junta soldada de fricção linear no arame por difusão mútua e recristalização.

[0047] Na modalidade da presente invenção, a amplitude é indicada pela letra A, a frequência é representada pela letra f e a força para pressão de atrito é representada por Pf. Conforme mostrado na FIG. 2 à FIG. 4, a seta dupla

vertical do lado esquerdo indica a amplitude A e a seta simples horizontal do lado direito indica a direção da força para pressão de atrito Pf. Conforme mostrado na FIG. 5, a seta simples horizontal do lado direito da figura indica a direção na qual a pressão de reversão é aplicada. A pressão de forjamento é indicada por Pu na FIG 5.

[0048] O processo de soldagem por fricção linear para arames de aço da armadura de tração de dutos flexíveis da presente invenção pode ser aplicado para realizar a soldagem de materiais metálicos ferrosos e não ferrosas. A junta soldada após o processo de soldagem desenvolvido pela presente invenção tem alta qualidade, o arame da armadura de tração de dutos flexíveis não funde durante todo o processo de soldagem, e pertence à tecnologia de soldagem em fase sólida. A junta de soldagem não produz defeitos de soldagem relacionados à fusão e solidificação. O processo de soldagem por fricção linear da presente invenção não utiliza qualquer tipo de ferramenta não consumível para promover a deformação plástica e mistura dos materiais a serem unidos, evitando assim gastos com desgaste de ferramenta. A estrutura de solda ultrafina e rigidamente estruturada obtida sob a ação de uma mecânica abrangente tem uma alta qualidade de junta e o desempenho pode atingir ou exceder o metal base. A qualidade da junta é estável, o equipamento de soldagem é mecanizado, o grau de automação é alto e a qualidade da soldagem é boa. Quando as condições de soldagem são fornecidas, a operação é simples, nenhum técnico especial de soldagem é necessário e os defeitos de soldagem causados por fatores humanos são evitados. Alta produtividade de soldagem, o calor de fricção pertence ao calor interno, a perda de calor é baixa, a

eficiência térmica é alta, a velocidade de aquecimento é rápida, o tempo de soldagem é curto.

[0049] O processo de soldagem por fricção desenvolvido e descrito na presente invenção tem requisitos baixos na face final do arame da armadura de tração de duto flexíveis, geralmente usinagem para retirar o flash e tratamento térmico pós soldagem em tempos reduzidos e baixas temperaturas; a zona afetada pelo calor e a deformação de soldagem causada pelo ciclo térmico de soldagem são pequenos, a precisão dimensional após a soldagem é alta, a permissão de usinagem é pequena. É um processo que visa à proteção verde e ambiental, sem fumaça, sem poluição, sem faísca, sem arco e sem poeira, sem gás nocivo, sem poluição para o meio ambiente, boas condições de produção, operação conveniente e baixa intensidade de trabalho.

[0050] A otimização dos parâmetros de soldagem por fricção linear em arames da amadura de tração de dutos flexíveis, juntamente com o reduzido tempo do processo, pode reduzir ainda o consumo elétrico de uma solda para 0,5W/h, sendo que este custo energético não ultrapassa 1W/h utilizando-se parâmetros máximos.

Testes e resultados para a qualificação do processo de soldagem por fricção linear da presente invenção (qualidade da solda)

[0051] Durante a solda por fricção linear em arames da armadura de tração de dutos flexíveis, foi realizada a aquisição de temperatura na superfície de uma junta. Como pode ser visto na Figura 6, a temperatura máxima atingida não ultrapassou 950°C indicando que as temperaturas envolvidas durante o processo de soldagem por fricção linear

da presente invenção são menores se comparadas com as do processo de soldagem de topo que ficam em torno de 1300°C.

[0052] Um tratamento térmico pós soldagem de até 650°C, por 10 minutos, foi aplicado em uma amostra (MFL-06) de junta das seções de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, soldada por fricção linear, pelo método da presente invenção.

[0053] A figura 7A apresenta uma macrografia da junta seccionada ao meio no sentido longitudinal antes do tratamento térmico pós-soldagem, enquanto a figura 7B apresenta uma macrografia da junta secionada ao meio no sentido longitudinal após o tratamento térmico pós-soldagem. Comparando as duas figuras, percebe-se que a junta soldada apresenta ainda um resultado melhorado quando existe um tratamento térmico pós soldagem.

[0054] A Figura 8 mostra o efeito do tratamento térmico pós-soldagem nos perfis de microdureza em uma amostra (MFL-06) da junta soldada pelo processo descrito na presente invenção em comparação com o material base. Os gráficos da figura 8 mostram uma queda de dureza na zona termo mecanicamente afetada com um pico de dureza na linha de solda e zona termicamente afetada antes do tratamento térmico. Após o tratamento térmico, há uma homogeneização da dureza ao longo das linhas, ficando semelhante ao metal base. A linha superior, central e inferior em cada gráfico se refere à altura da linha traçada no corte de seção longitudinal do arame. Onde, a linha superior corresponde a 2mm da borda superior, a linha central corresponde a 7mm da borda superior e a linha inferior corresponde a 2mm da borda inferior.

[0055] Ensaios de tração também foram realizados nas

juntas soldadas por fricção linear, pelo processo descrito na presente invenção, em seções de arames da armadura de tração de dutos flexíveis. Os parâmetros de soldagem foram os mesmos nas três amostras (MFL-06 01, MFL-06 02 e MFL-06 03).

[0056] A Figura 9 mostra os gráficos de tensão versus deformação obtidos durante os ensaios realizados. A Tabela 1 mostra os valores de tensão de escoamento e de resistência à tração das três amostras soldadas em comparação com outras três amostras tracionadas do material base (MB 01, MB 02 e MB 03).

[0057] Tabela 1 - Resultados dos ensaios de tração em amostras soldadas por fricção linear (FLW 01, FLW 02 e FLW 03) e amostras do material base de arames da armadura de tração de dutos flexíveis (MB 01, MB 02 e MB 03).

Amostra	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento (%)
FLW 01	1140	1323	6,60
FLW 02	1146	1327	5,36
FLW 03	1176	1377	7,00
Média FLW	1154	1342	6,32
MB 01	1045	1252	7,31
MB 02	1048	1253	7,04
MB 03	1052	1251	7,08
Média MB	1048	1252	7,14

[0058] Nos três casos os valores obtidos superaram os valores do material base.

[0059] O ensaio de inspeção com partículas magnéticas apresentado na figura 10 e realizado em uma amostra (MFL-06)

de arames da armadura de tração de dutos flexíveis soldados pelo processo descrito na presente invenção mostra que não há presença de defeitos na solda, inclusive mostra a ausência de possíveis trincas de resfriamento ocasionadas pelo flash.

[0060] A aquisição dos dados dos parâmetros de controle de uma junta soldada com seções de arame da armadura de tração de dutos flexíveis, conforme a invenção, é apresentada na Figura 11. Conforme pode ser observado, o tempo de processamento é de, aproximadamente, 6 segundos. Este tempo reduzido está relacionado ao baixo consumo energético necessário para a produção de uma junta soldada por fricção conforme a presente invenção. O dado de "força H" se refere ao parâmetro de força axial de compressão entre os arames e que na amostra MFL-06 desta solda atinge o pico de 10kN visto no eixo Y da direita. O dado de "deslocamento H" se refere ao parâmetro de encurtamento axial do arame. O gráfico mostra que o valor alcançado foi de 6mm nesta solda, visto no eixo Y da esquerda. Por fim o parâmetro "deslocamento V" se refere à amplitude de oscilação que visto a partir do eixo Y da esquerda foi de aproximadamente 3mm.

[0061] A Figura 12 apresenta o resultado de macrografia de junta soldada por fricção linear, conforme processo da presente invenção, com seções da liga USN N08830. A Figura 13 apresenta resultado de micrografia de junta soldada por fricção linear, conforme processo da presente invenção, com seções da liga USN N06625. A figura 14 apresenta resultado de micrografia de junta soldada por fricção linear, conforme processo da presente invenção, com seções de aço inoxidável superduplex.

[0062] As três figuras mostram resultados visualmente

satisfatórios para as três ligas utilizadas e soldadas pelo processo de fricção linear da presente invenção.

[0063] Portanto, em vista do exposto e dos experimentos realizados, fica claro que a invenção ora descrita provê um processo de soldagem por fricção linear para arames da armadura de tração de dutos flexíveis com uma boa estabilidade e qualidade de solda. Desta forma, os equipamentos utilizados nas perfurações podem ser melhor utilizados.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis **caracterizado** por compreender as seguintes etapas:

S1 - Preparação do arame antes da soldagem;

S2 - Estágio inicial ou fase inicial;

S3 - Estágio de transição ou fase de transição:

S4 – Fase de atrito estável; e

S5 – Fase de soldagem por forjamento;

em que o referido processo de soldagem é em fase sólida e não utiliza nem necessita de qualquer tipo de ferramenta não consumível ou de material de adição para promover a união das partes.

2. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que na etapa de preparação do arame antes da soldagem (S1), a primeira seção de arame de armadura de tração (1) é fixada ao dispositivo de fixação oscilante (3) da máquina de solda e a segunda seção de arame de armadura de tração (2) é fixada ao dispositivo de fixação linear (4) da máquina de solda.

3. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que as duas seções de arames de armadura de tração (1, 2) são centralizadas com o ajuste dos dois dispositivos de fixação, oscilante (3) e linear (4), formando um par de fricção linear.

4. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a

reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que a primeira seção de arame de armadura de tração (1) e a segunda seção de arame de armadura de tração (2) têm a mesma estrutura e a face da extremidade da primeira seção de arame (1) é perpendicular à extensão da própria primeira seção de arame (1).

5. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo de fixação oscilante (3) é capaz de prender a primeira seção de arame (1) e o atuador servo controlado oscilante (5) executa vibração recíproca linear no dispositivo de fixação oscilante (3) através das guias lineares verticais (7).

6. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que a linha reta no movimento recíproco linear é uma linha reta horizontal ou uma linha reta vertical, ou uma linha reta oblíqua em um certo ângulo.

7. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo de fixação linear (4) é capaz de agarrar a segunda seção de arame (2) e o atuador servo controlado linear (6) fornece a força para pressão de atrito (Pf) e para a pressão invertida ou de retorno através das guias lineares horizontais (8).

8. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que no estágio inicial (S2), a primeira seção de arame (1) alterna

linearmente de posição sob a ação de um atuador servo controlado oscilante (5); e quando a amplitude e a frequência predeterminadas são alcançadas, a segunda seção de arame (2) é movida em direção a primeira (1) sob a ação de um atuador servo controlado linear (6).

9. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que no estágio inicial (S2), a superfície de soldagem da primeira seção de arame (1) é colocada em contato com a superfície de soldagem da segunda seção de arame (2) através de uma força axial, gerando tensões compressivas na área de contato.

10. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizado** pelo fato de que a superfície de soldagem da primeira seção de arame (1) e a superfície de soldagem da segunda seção de arame (2) possuem irregularidades e impurezas, tais como um filme de óxido, ou ferrugem, gerando calor por fricção.

11. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que no estágio de transição (S3), as superfícies de metal locais no estado plástico de alta temperatura são soldadas umas às outras e, em seguida, linearizadas.

12. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que no estágio de transição (S3), a primeira seção de arame (1) e a segunda seção de arame (2) não são encurtadas na direção axial.

13. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que na fase de atrito estável (S4), o metal da camada de deformação plástica em alta temperatura é extrudado da superfície de atrito formando uma borda de flash e é suprido pelo metal em alta temperatura perto da interface e que está em um estado de equilíbrio dinâmico.

14. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que na fase de atrito estável (S4), a primeira seção de arame (1) e segunda seção de arame (2) são encurtadas na direção axial.

15. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que o encurtamento na direção axial é exponencial em relação ao tempo de fricção.

16. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que na fase de soldagem por forjamento (S5), o metal da zona de solda forma uma junta soldada de fricção linear no arame por difusão mútua e recristalização.

17. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, **caracterizado** por compreender ainda usinagem para retirar o flash e tratamento térmico pós soldagem com tempos reduzidos e baixas temperaturas.

18. Processo de soldagem por fricção linear de arame da

armadura de tração de duto flexível, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, **caracterizado** pelo fato de que o tratamento térmico pós soldagem é realizado em uma temperaturas de até 650°C por até 10 minutos.

19. Processo de soldagem por fricção linear de arame da armadura de tração de duto flexível, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 18, **caracterizado** por ser realizado em uma temperatura de até 950°C.

20. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que um atuador servocontrolado oscilante (5) executa vibração recíproca linear no dispositivo de fixação oscilante (3).

21. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o atuador servo controlado oscilante (5) é acoplado a um sensor de aquisição e força (9).

22. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o atuador servo controlado oscilante (5) é acoplado a um sensor de aquisição deslocamento (11).

23. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o atuador servo controlado linear (6) fornece a força para pressão de atrito (Pf) e para a pressão invertida ou de retorno.

24. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a

reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o atuador servo controlado linear (6) é acoplado a um sensor de aquisição e força (10).

25. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o atuador servo controlado linear (6) é acoplado a um sensor de aquisição deslocamento (12).

26. Processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que um controle remoto da máquina de soldagem por fricção deve ser capaz de permitir controle sobre a amplitude e frequência de movimento do atuador servocontrolado oscilante (5), sobre um deslocamento máximo pré-definido do atuador servocontrolado linear (6), sobre a força máxima aplicada pelo atuador servocontroldo linear (6) na segunda seção de arame, sobre a taxa de aplicação da força no atuador servo controlado linear (6), sobre a taxa de desaceleração do movimento oscilante do atuador servocontrolado oscilante (5).

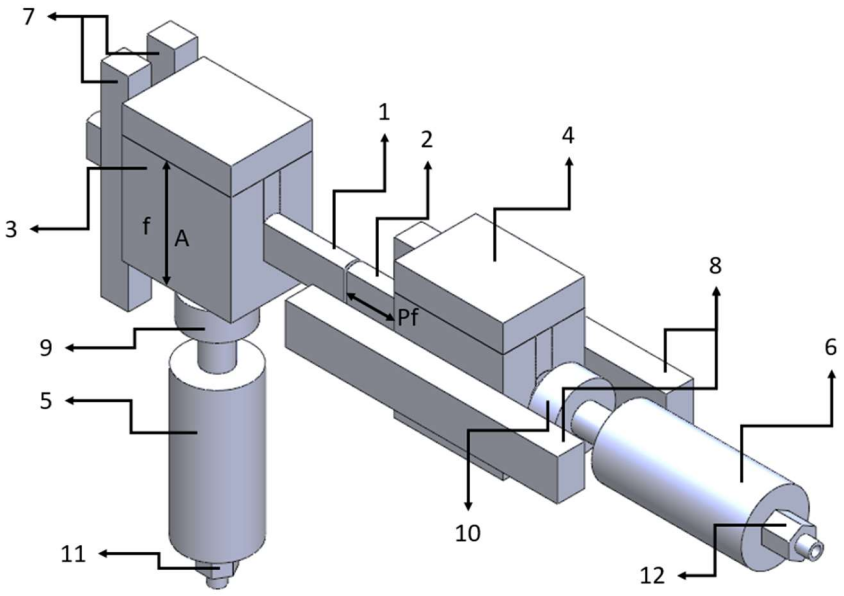


FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 3



FIGURA 4

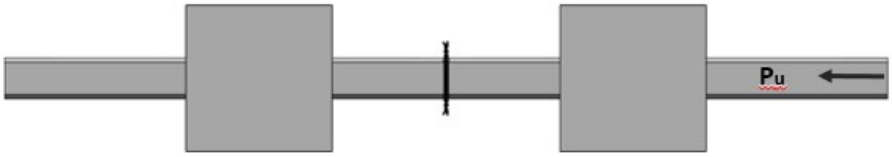


FIGURA 5

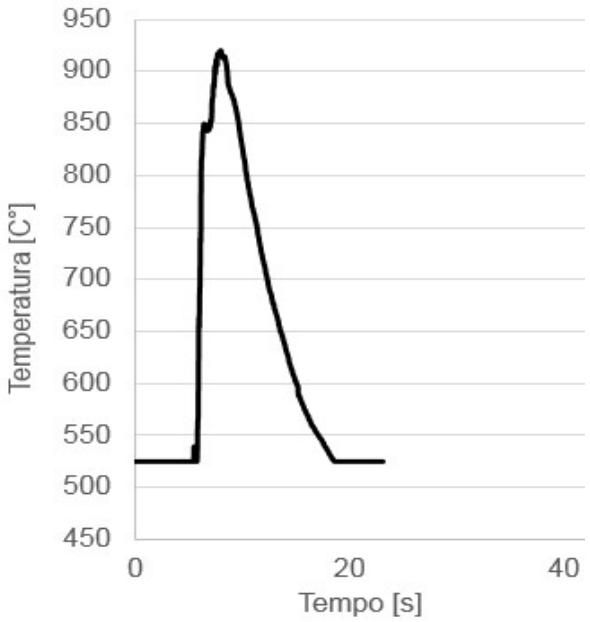


FIGURA 6

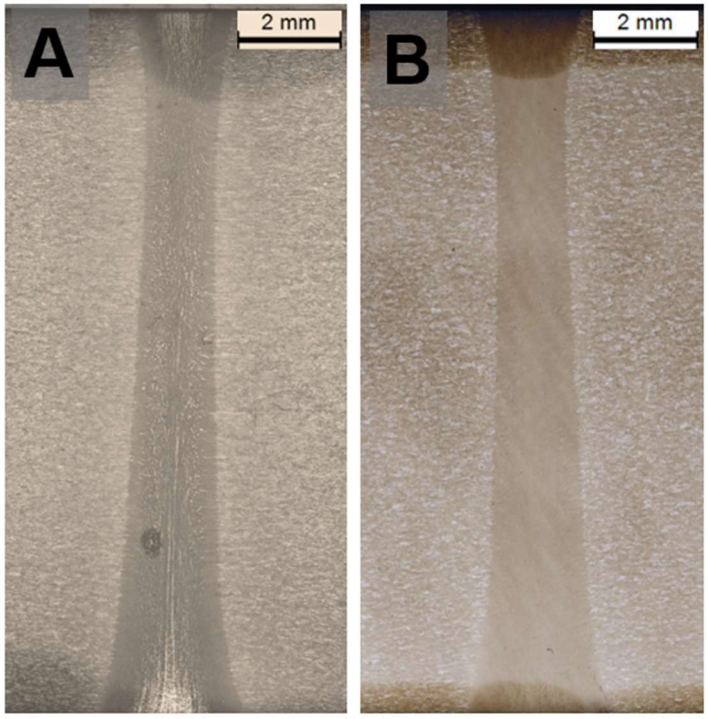


FIGURA 7

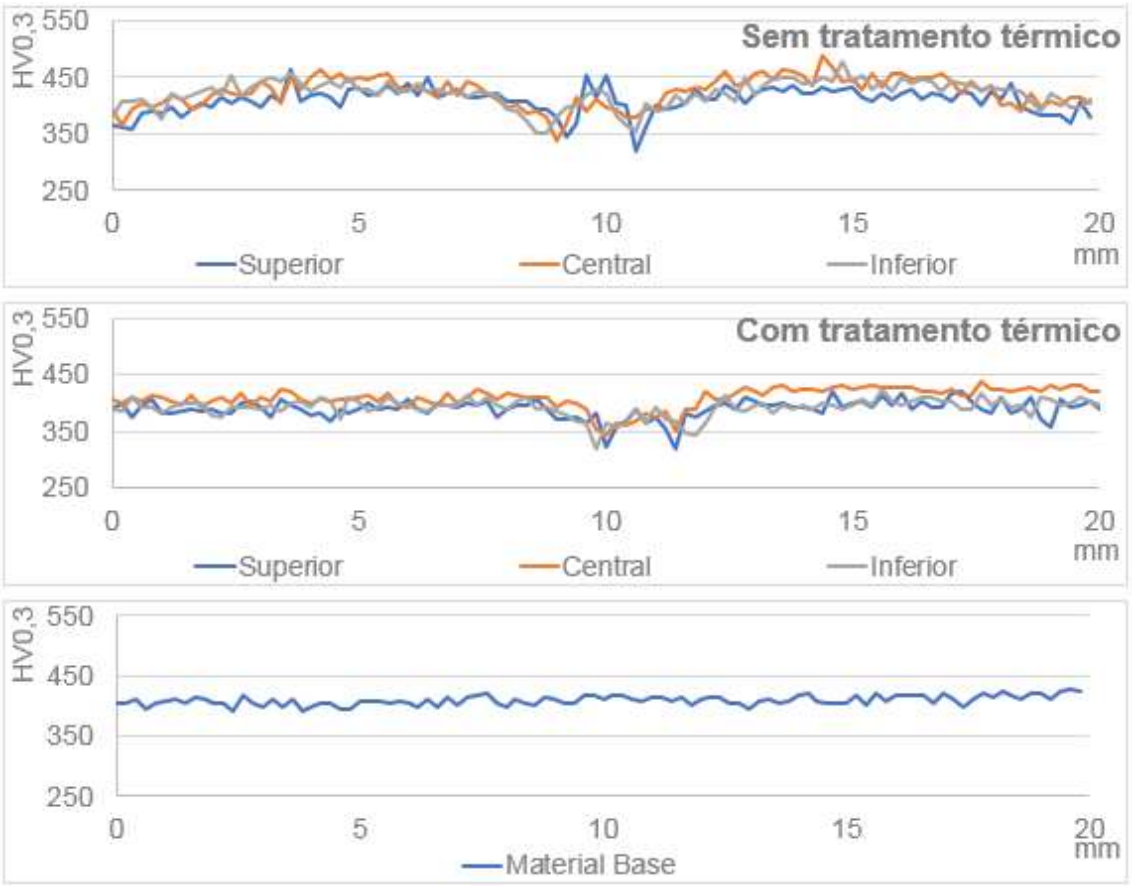


FIGURA 8

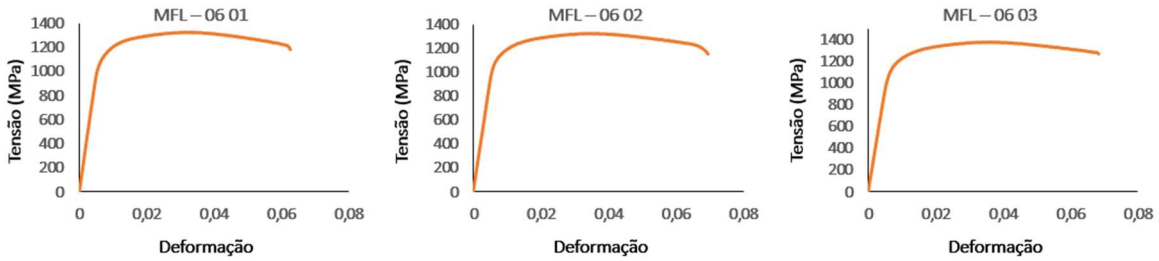


FIGURA 9

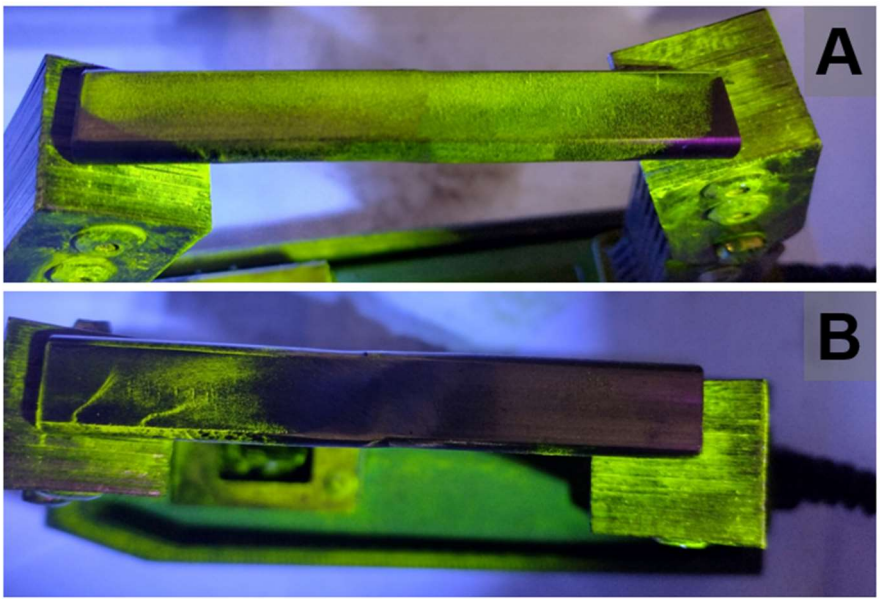


FIGURA 10

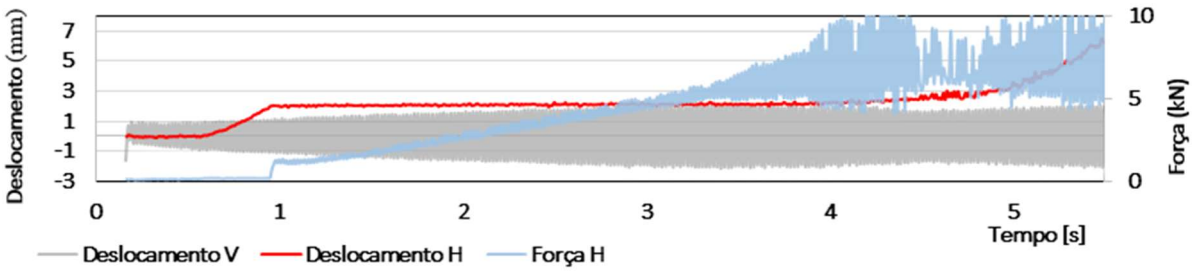


FIGURA 11

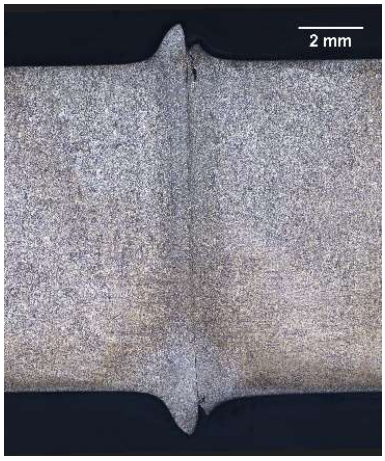


FIGURA 12



FIGURA 13

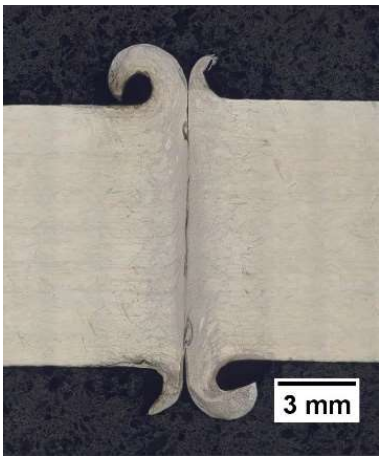


FIGURA 14

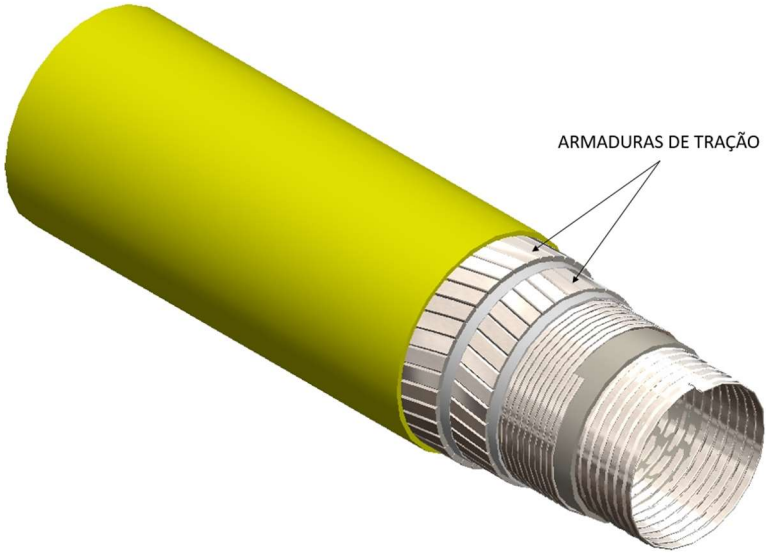


FIGURA 15

Resumo

PROCESSO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO LINEAR PARA ARAMES DA ARMADURA DE TRAÇÃO DE DUTOS FLEXÍVEIS

A presente invenção descreve um processo de soldagem por fricção linear de arames da armadura de tração de dutos flexíveis compreendendo as seguintes etapas: preparação do arame antes da soldagem; estágio inicial ou fase inicial; estágio de transição ou fase de transição; fase de atrito estável; e fase de soldagem por forjamento. O referido processo de soldagem é realizado em fase sólida e não utiliza nem necessita de qualquer tipo de ferramenta não consumível ou de material de adição para promover a união das partes.