

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DE DISSERTAÇÃO

**AVALIAÇÃO TÉORICO-EXPERIMENTAL DE UM NOVO CONCEITO DE TOCHA
TIG COM ALIMENTAÇÃO TANGENCIAL EM APLICAÇÕES DE
REVESTIMENTO COM A LIGA DE NÍQUEL 625**

Cassiano Godinho

Orientador: Prof. Dr. Régis Henrique Gonçalves e Silva
Co-orientador: Prof. Dr. Mateus Barancelli Schwedersky

Florianópolis

2016

1	INTRODUÇÃO	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	SOLDAGEM DE REVESTIMENTO	5
2.2	LIGAS DE NÍQUEL	7
2.2.1	Efeito dos Elementos de liga	8
2.3	GASES DE PROTEÇÃO	9
2.4	PROCESSO TIG	10
3	OBJETIVOS	13
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4	APARATO EXPERIMENTAL.....	14
4.1	FONTE DE SOLDAGEM E ALIMENTADOR DE ARAME	14
4.2	TOCHA TIG E CONSUMÍVEIS	14
4.3	EQUIPAMENTO DE MANIPULAÇÃO	15
4.4	FILMAGEM DE ALTA VELOCIDADE	15
5	METODOLOGIA E CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	16
6	ENSAIOS PRELIMINARES	17
7	PREVISÃO FINANCEIRA	19
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	20

1 INTRODUÇÃO

A medida que o mundo demanda maior necessidade por consumo de energia as indústrias de óleo e gás também aumentam suas operações e a produção de combustíveis fósseis tornam-se ainda mais importante. A indústria de petróleo e gás apresenta-se como um campo de grande utilização da técnica de soldagem por revestimento, principalmente em *pipelines*, “*subsea trees*” e flanges, e alguns outros componentes para utilização em ambiente de extração submarino.

O revestimento por soldagem consiste de um processo de consolidação entre um substrato – comumente aço - e um material com características especiais, como resistência a corrosão. Os materiais ou ligas normalmente utilizadas para tais aplicações são alumínio, aços inoxidáveis, ligas de níquel. Estes materiais são utilizados com o propósito de melhorar a vida útil e desempenho dessas peças frente a suas aplicações. Na figura 1 ilustra-se uma estrutura de árvore de natal, composta por diversos componentes os quais são aplicados a técnica do revestimento.

Dentre os materiais que maior aplicabilidade no contexto do revestimento por soldagem destacam-se as ligas de Níquel. Estes materiais são selecionados devido a algumas características próprias como elevada resistência a corrosão e resistência mecânica em altas e baixas temperaturas. As ligas de Níquel, assim como os aços inoxidáveis, possuem grande demanda para aplicações também em turbinas, indústrias químicas e petróleo e gás.

Os atributos destas ligas marcam suas aplicações na indústria de Petróleo e gás, por exemplo, poços para extração de petróleo em altas profundidades necessitam de tubos com alta resistência a corrosão e resistência mecânica, devido a solicitações mecânicas, pressão absoluta do ambiente submarino, dentre outros. Entre as ligas especiais de Níquel, apresenta-se a liga 625 com elevada aplicabilidade em revestimento de estruturas de “árvore de natal” - conjunto de válvulas, carretéis e acessórios para poços de extração de petróleo. A liga 625 também provê aplicações de revestimento interno em vasos de pressão com uma proteção de longo prazo sem a necessidade de constante inspeção.



Figura 1 - Estrutura de árvore de natal para aplicações submarinas de extração de petróleo. Fonte: [1]

Outra aplicação são os tubos de aço cladeados para aplicações na indústria de Petróleo e Gás fabricados de aços carbono e revestidos com uma fina camada interna de ligas de Níquel ou aço Inoxidável. Tal revestimento permite reduções de custos significativas em comparação a fabricação de um tubo maciço com estas ligas especiais [2]

O processo TIG – *Tungsten Arc Welding* – é um processo de soldagem conhecido por não apresentar pouca incidência de defeitos e possibilitar uma alta qualidade no cordão gerado, no entanto, com baixa produtividade. Por este motivo, é muitas vezes substituído pelo processo MIG – *Metal Inert Gas* – para o aumento da produtividade. Segmentos da indústria, no entanto, buscam alta qualidade na manufatura de equipamentos que necessitam de revestimento, principalmente aqueles com a finalidade de suportar ambientes altamente corrosivos. Neste contexto, busca-se superar limitações apresentadas pelo processo TIG a partir de variantes deste processo. Para isso uma tecnologia desenvolvida há alguns anos apresenta inovações no qual a alimentação de arame no processo é realizada tangencialmente com o objetivo de melhorar a produtividade, por meio da eficiência de fusão, porém permanecendo as qualidades inerentes ao processo TIG. Esta técnica é denominada de TopTIG.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOLDAGEM DE REVESTIMENTO

O revestimento trata-se da deposição de múltiplos cordões de solda dispostos de forma a produzir uma ou mais camadas de metal com características específicas beneficiando superfícies com tendência ao desgaste. De acordo com o que é proposto pela norma DIN 50320 há dois tipos de mecanismos de desgaste: por ação mecânica ou ação química/eletrolítica. Neste trabalho o mecanismo de desgaste por ação química/eletrolítica ou corrosão estará no contexto. A corrosão pode ser definida como a remoção ou degradação das propriedades de um material por meio de uma atuação química do meio. Esta ação torna-se mais desenvolvido em meios aquosos, o qual está inserido a maioria dos problemas, como por exemplo na indústria de Petróleo e Gás em ambiente de extração petrolífera submarina. Dentre as formas o qual um material pode sofrer corrosão podemos enumerar: corrosão por pites, corrosão sob tensão, corrosão galvânica, dentre outras.

Assim sendo, para que seja realizado um procedimento de revestimento é necessária a seleção de um processo de soldagem adequado. Este se faz após a seleção do material para aplicação da proteção, características metalúrgicas do metal de base e conhecimento do regime de trabalho imposto. Após esta determinação se criam as condições para a correta determinação da tecnologia a ser aplicada. Baseados nestes fatos e na necessidade de estudos de viabilidade econômica diferentes processos têm sido utilizados com a finalidade de aplicações de revestimento tais como MIG/MAG, Arco Submerso, PTA e TIG [4].

A soldagem de revestimento internacionalmente conhecida como *weld overlay* pode ser classificada de acordo com objetivos específicos do material a ser depositado [5]:

- Weld Cladding;
- Hardfacing;
- Buildup;
- Battering.

Este trabalho terá como foco a abordagem do *Weld Cladding* que se trata da deposição de uma fina camada de uma liga especial com propriedades específicas sob um material de base normalmente aço carbono ou outro aço de baixa liga com fins de proteção contra principalmente reações oxidantes [5], além de solicitações mecânicas. *Weld cladding* difere-se das outras em termos de finalidade. *Hardfacing* busca a resistência a abrasão, erosão, impacto. *Buildup* aplica-

se para restauração de peças e equipamentos desgastados. Já o *Buttering* busca melhorias na superfície para realização de um novo procedimento de soldagem.

Dentre os materiais utilizados com este fim e que apresenta excelentes propriedades contra estas ações, trata-se a liga especial de Níquel 625, o qual será abordada neste trabalho. Uma premissa básica para utilização de ligas a base de Níquel em aplicações de revestimento está relacionada principalmente a percentagem de Ferro encontrada na camada protetora. Segundo a norma API 6A, aplicações de revestimento utilizando-se a liga de Níquel 625 teores de ferro devem respeitar duas categorias: FE 5, em que o teor de ferro é igual ou superior a 5%; FE 10 em que o teor de ferro está na escala de até 10%. Ainda se tratando de normas, a regulamentação N1707 da Petrobras, estabelece que para projeto e construção de equipamentos com revestimento metálico interno com aços inoxidáveis, Níquel e ligas de Níquel, tanto para chapas cladeadas, tiras soldadas e *weld cladding*, recomenda-se a espessura mínima de 3 mm. A norma ainda exige mais de uma camada de deposição para se melhorar os efeitos da diluição por Ferro.

. Dentre outras aplicações na indústria Petrolífera, trata-se da soldagem de união de dutos, no entanto, há uma grande diferença existente entre os processos de soldagem para aplicação de revestimento e união, que está relacionado ao parâmetro de diluição. Segundo Modenesi et al [6] nas partes mais quentes da poça de fusão, localizada abaixo do arco, onde o metal de adição é misturado a poça de fusão encontra-se uma intensa interação e agitação do metal fundido com os gases e escórias presente na região do arco. Tal interação envolve diversos fenômenos, dentre eles, a absorção de gases, redução de óxidos e difusão de elementos de liga. Desta maneira, a composição química final da Zona Fundida (ZF) depende da intensidade destas interações, da composição do metal de adição e metal de base e participação relativa destes na formação da ZF [6]. A figura abaixo (figura 2) ilustra níveis de diluição em termos de percentagem de ferro para o primeiro passe de revestimento realizado. Verifica-se níveis relativamente altos de diluição, por isso torna-se fator fundamental a execução de multipasses na soldagem de revestimento para que seja possível a redução destes níveis.

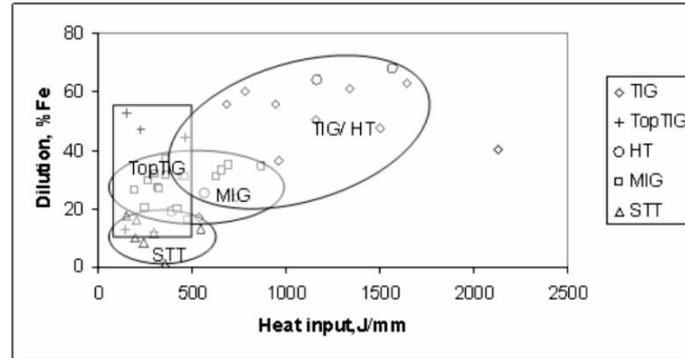


Figura 2 – Níveis de diluição em termos de porcentagem de Ferro para diferentes processos. Fonte: [7]

2.2 LIGAS DE NÍQUEL

As ligas de Níquel são materiais especiais que apresentam diversas aplicações em um amplo campo da Engenharia em função de suas propriedades peculiares. Dentre suas aplicações, destacam-se as indústrias de energia nuclear, aeronaves, turbinas geradoras de energia, mísseis para indústria bélica, plantas de processamento químico, petroquímica e de petróleo e gás [8]. Estas ligas constituem uma importante classe de materiais de engenharia, pois conseguem combinar elevada resistência mecânica sob altas temperaturas com ótima resistência a oxidação, o que as torna úteis para diversas aplicações [9]. Por exemplo, nos últimos anos tem se alcançado melhorias em termos de performance e eficiência em motores de turbinas por meio de uma propriedade destas ligas que é justamente a capacidade de suportar altas temperaturas [10].

Atualmente as ligas de níquel são desenvolvidas pelas mais diferentes indústrias e aplicações. Estas podem ser produzidas por várias formas e processos siderúrgicos [11]. Após a fusão destes materiais, seus elementos de liga podem ser gerados em diversas configurações, a quente ou a frio com ou sem tratamento térmico, na forma de chapas, barras, arame, dependendo exclusivamente de sua aplicação final. Para aplicações em soldagem é necessário que este material esteja na forma de arame, e os principais processos utilizados são TIG e MIG/MAG [12], além de processos como PTA que utiliza pó metálico.

Em vias de melhorias em termos de desempenho e qualidade, a aplicação destas ligas está principalmente ligada a técnicas de proteção de superfície que buscam aumentar a vida útil do metal de base e também melhorar propriedades mecânicas de um substrato susceptível a oxidação e também fraturas devido a solicitações mecânicas. Concomitantemente, estes materiais também apresentam algumas desvantagens como elevado custo e soldabilidade [13]. O termo soldabilidade, segundo a literatura aborda, é utilizado para descrever a susceptibilidade

de um material a defeitos quando submetido a um processo de soldagem [11]. Em face disso, torna-se necessário um bom planejamento e estudo do processo para sua correta utilização.

2.2.1 Efeito dos Elementos de liga

As diversas ligas de Níquel que existem possuem diferentes composições adquiridas por meio de mecanismos de interação molecular entre diferentes elementos químicos conferindo propriedades específicas para estes materiais principalmente resistência a corrosão e resistência a elevadas temperaturas sem sofrer com a perda de propriedades mecânicas [14]. Dentre estes elementos destacam-se Co, Cr, Fe e Mo os quais apresentam maior afinidade para a realização desta interação [11]. Mas também existem outros elementos que podem compor as superligas de Níquel, são eles: Carbono, Tungstênio, Alumínio, Boro, Titânio, Carbono e Zircônia e Nióbio. Devido à presença de um número elevado de elementos de liga esta família de material apresenta elevada complexidade [15]. Particularmente, a superliga de Níquel 625, apresentada pela AWS (*American Welding Society*) como ER Ni-Cr-Mo-3 apresenta a seguinte composição, ilustrada na tabela abaixo (tabela 1):

Tabela 1 - Composição química da liga de Níquel 625. Fonte: [11]

Item	Composição, peso %							
	Ni	C	Cr	Mo	W	Fe	Al	Ti
INCONEL 625 (ERNiCrMo-3)	64,43	0,011	22,2	9,13	-	0,19	0,09	0,23
	Nb	Mn	Si	Cu	Co	V	P	S
	3,53	0,01	0,05	0,01	0,03	-	0,002	0,002

Abaixo indica-se o que os elementos de liga com maior composição e influência na composição final da liga:

- Cromo: promove o endurecimento por solução sólida e age beneficemente na resistência a corrosão, já que um filme passivador formado por Cr_2O_3 impede avanço dos átomos de oxigênio [16]
- Molibdênio: Aumenta a resistência em atmosferas não oxidantes, além de combater a corrosão por pitting e em altas temperaturas [17]
- Nióbio: Tem a função principal de controlar a segregação durante as reações finais de solidificação [17].
- Ferro: Age aumentando a resistência por solução sólida. Também aumenta a solubilidade do Carbono ao Níquel, propiciando assim também maior resistência a altas temperaturas [17].

Outros componentes em menores concentrações como Manganês promove estabilização da fase austenítica, o que provê um estrutura cristalina com boas propriedades mecânicas, Silício promove estabilidade dos óxidos e resistência a carburização [17]. O titânio combina-se preferencialmente com carbono prevenindo defeitos e eliminando a susceptibilidade a corrosão [18]. Desta forma, definimos a liga de Níquel 625 como adequada para aplicações de revestimento em função de seus elementos com características específicas para proteção a meios oxidantes.

2.3 GASES DE PROTEÇÃO

Os gases de proteção são fundamentais em todo o procedimento de soldagem pois além de sua atmosfera ionizante também são responsáveis por proteger a poça de fusão de constituintes atmosféricos os quais podem contaminar a solda causando defeitos [19]. Para a escolha do gás de proteção faz-se necessário o conhecimento da aplicação e tipo de material a ser utilizado. Na soldagem de ligas de Níquel, por exemplo, existem misturas especiais com adição de Hidrogênio. Estas combinações, segundo a literatura de soldagem aborda [20], são consideradas “mais quentes” forçando características como molhabilidade, fundamental em aplicações de revestimento.

Na soldagem TIG, o fato do eletrodo não-consumível ser composto de Tungstênio, o qual oxida facilmente em altas temperaturas, os gases devem ser inertes ou redutores. Por isso, o gás predominante em aplicações com o processo TIG é o Argônio, o qual além de sua atmosfera inerte, possui baixo custo. Como supracitado, existem aplicações em que podem ser utilizadas misturas de gases, tais como Argônio e Hidrogênio e também é possível se utilizar o gás Hélio. Este trabalho abordará técnicas com a utilização do gás Argônio e misturas de Argônio com Hidrogênio. O Hidrogênio apresenta como principal característica a condutividade térmica (figura 3a) que o possibilita maior aporte térmico, esta peculiaridade permite melhores rendimentos ao processo TIG, representado aqui pela eficiência de fusão (figura 3b).

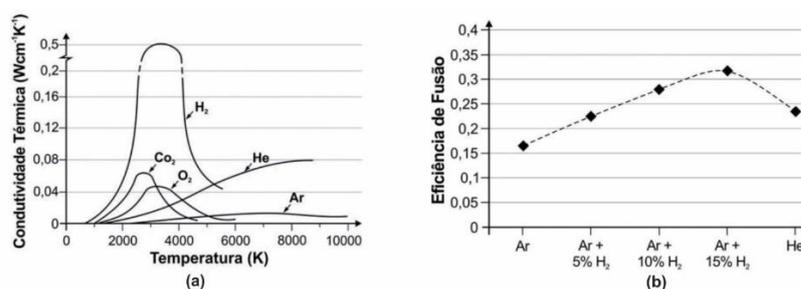


Figura 3 - Efeito dos gases sobre a eficiência de fusão. Fonte: [21]

Apesar das vantagens apresentadas pela utilização de um gás com concentrações de Hidrogênio, não é comum encontrá-lo em aplicações industriais e há duas razões que o explicam. Primeiramente, trata-se de um gás inflamável, por questões de segurança torna-se difícil a sua utilização. O segundo aspecto está relacionado a metalurgia da soldagem. O hidrogênio apresenta uma interação molecular com o metal fundido que aumenta a susceptibilidade da solda à defeitos [22], principalmente trincas. As trincas estão relacionadas a capacidade de o metal de base absorver e dissolver as moléculas de Hidrogênio [23]. Este deve ser dissolvido em quantidades que não permita que estas moléculas resultem na formação destes defeitos. A utilização do Hidrogênio em ligas especiais o torna ainda mais crítico, pois podem apresentar outros tipos de defeitos como perda de resistência mecânica na região da solda [11].

2.4 PROCESSO TIG

Dentre os processos de soldagem, destaca-se o processo TIG no que se refere a qualidade e universalidade de aplicações em termos de materiais [24]. Este processo é caracterizado por um arco elétrico não constricto estabelecido entre um eletrodo de Tungstênio, não consumível e refratário, isto é, mantém suas propriedades e a capacidade operacional na temperatura de trabalho. Este processo pode apresentar ou não alimentação externa de arame e, quando usada é feita diretamente na poça de fusão.

Devido ao fato do eletrodo ser não consumível é possível a soldagem sem adição de material, o que se torna vantajoso para aplicações em chapas finas. No entanto, muitas aplicações de engenharia se faz necessário a utilização de metal de adição, seja para aplicações de proteção como revestimento [12], seja para aplicações de união em juntas de chapas de aço cladeados [2].

O fato do processo TIG permitir a configuração de parâmetros de forma independente - velocidade de arame e corrente, permite o melhor controle da energia aportada ao material, apresentando, portanto, melhores características em relação ao processo MIG/MAG onde não é possível este controle. Contudo o processo TIG ainda apresenta uma dificuldade em termos de produtividade em relação a outros processos alimentados, como MIG/MAG.

Assim, com o intuito de melhorar o contexto da produtividade do processo TIG, surgem variantes com este objetivo. Dentre eles podemos citar TIG duplo cátodo, TIG hot wire, TipTIG, no qual todos estes apresentam a inserção de arame radial ao eletrodo. No entanto,

objeto de estudo deste trabalho trata-se do TIG com alimentação tangencial ou TopTIG (figura 4a). Cada processo apresenta sua particularidade buscando melhores rendimentos em aplicações industriais. O TIG duplo eletrodo apresenta vantagens quanto a pressão do arco sobre a poça de fusão [25], evitando assim alguns defeitos característicos como *humping*. O TIG convencional com arame quente (figura 4b) ocorre com a alimentação de arame pré-aquecido por efeito Joule o que garante melhor desempenho em termos de velocidade de soldagem e taxa de deposição [26]. O TipTIG traz uma diferença em termos na forma que o arame é alimentado [27], radial e não contínuo, possibilitando uma agitação da poça o que melhora características geométricas do cordão como molhabilidade. Por fim, o processo TopTIG, realiza a alimentação de arame tangencialmente ao eletrodo. De acordo com literatura [28] esta forma de inserção do arame no arco, permite que adentre a região “mais quente” do arco elétrico, próxima a extremidade do eletrodo, tornando possível maiores taxas de fusão e velocidade de soldagem.

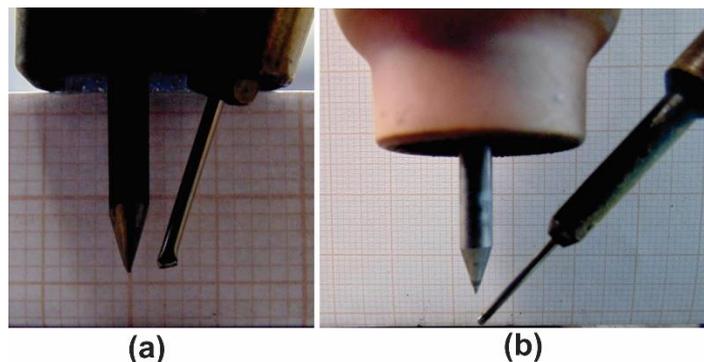


Figura 4 - Alimentação tangencial (a) e alimentação radial (b). Fonte: próprio autor.

Este novo conceito surgiu com o intuito de garantir maiores taxas de deposição semelhantes ao MIG [28, 29] e uma transferência metálica que pode ser do tipo destacada ou ponte de maneira eficiente a garantir a qualidade inerente ao processo TIG. Segundo [28] é preferível uma transferência em ponte, o que garante maiores taxas de deposição e um risco reduzido de contaminação do eletrodo entrar em contato com o arame. Já a transferência destacada ocorre pelo contínuo destacamento de gotas pelo calor do arco e efeito gravitacional. Apesar das vantagens apresentadas pela transferência em ponte, a destacada apresenta a vantagem de por exemplo gerar uma constante agitação da poça em função da queda das gotas reduzindo o risco de porosidade. Ademais, é possível realizar a pulsação do arame de forma sincronizada com a corrente elétrica, permitindo diferentes configurações em condições semelhantes. Além deste bom controle de processo, o conceito da alimentação tangencial, propicia que a tocha apresente um *design* compacto, permitindo movimentações

multidirecionais e melhor acessibilidade, diferentemente do processo TIG convencional alimentado radialmente onde torna-se inacessível para algumas aplicações. Um estudo desenvolvido por [29] demonstrou a aplicação desta mesma configuração de tocha em diferentes condições e demonstrou a comparação em termos de taxa de deposição em relação ao processo MIG (figura 5), reforçando a aplicabilidade e eficiência do novo conceito.

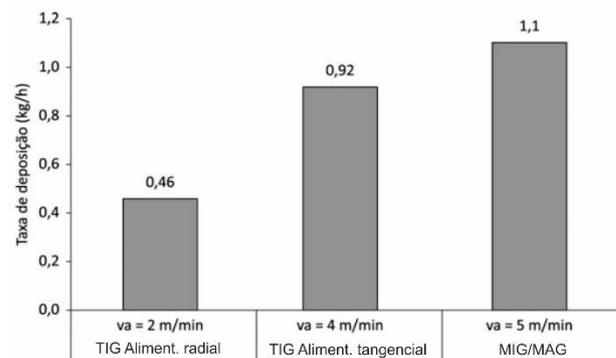


Figura 5 - Comparativo da taxa de alimentação entre processos. Fonte: [29] adaptado

O processo apresenta flexibilidade de permitir a instalação tanto em robôs como em sistema automatizados, aliando requisitos para aplicações industriais como produtividade a um investimento aceitável. Desta maneira, o presente trabalho se propõe a explorar esta nova tecnologia, inédita no Brasil, visando o desenvolvimento científico aliado a aplicações industriais visto que pouca literatura é encontrada a respeito deste assunto [28-30]

3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é estudar uma nova variante de processo TIG baseada em um conceito diferenciado de tocha que usa alimentação de arame tangencial ao eletrodo, visando aplicações de revestimento e união utilizando a liga de Níquel 625.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram elencados alguns objetivos específicos cobrindo os principais aspectos que serão abordados pelo trabalho:

- Estudar a alimentação tangencial estabelecendo comparativo com o processo TIG convencional alimentado radialmente relacionando os principais aspectos inerentes a soldagem por revestimento, como por exemplo, produtividade, diluição, geometria do cordão, incidência de defeitos e facilidade de operação;
- Avaliar a influência das diferentes posições de inserção do arame – frontal, lateral e traseira - sobre as características do cordão;
- Entender os efeitos do tipo de transferência metálica – destacada e ponte – com relação à estabilidade do processo e características do cordão obtido;
- Investigar em termos de produtividade este novo processo em relação ao TIG *hot wire*;

4 APARATO EXPERIMENTAL

4.1 FONTE DE SOLDAGEM E ALIMENTADOR DE ARAME

Para a realização do projeto proposto será utilizada uma fonte eletrônica *TOP TIG 220 DC* (A), do fabricante *Air Liquide*. Este equipamento possui a capacidade de operar com o processo TIG a um limite máximo de corrente média de 220 A.

O sistema de alimentação modelo *DIX WD 300* (B) consiste de um cabeçote alimentador que possui um sistema de roletes tracionadores simples ranhurado. Além disso o sistema cabeçote alimentador-tocha possui dois tracionadores, o qual permite sincronização de velocidade de arame quando com a corrente de soldagem. O controle de variáveis de processo é feito por controle remoto conectado a fonte de soldagem.

4.2 TOCHA TIG E CONSUMÍVEIS

A tocha TIG utilizada é do modelo *TOP TIG* (C) da fabricante *Air Liquide* com alimentação de arame junto ao bocal. Este sistema possui dupla refrigeração (D) com um fluido específico e tem capacidade de corrente de 220 A em um fator de trabalho de 100% quando refrigerada. Além disso, permite troca automática de eletrodos de tamanhos entre 2,4 e 4,0 mm.

O eletrodo utilizado será do tipo *AWS EWLa-2* dopado com óxido de Lantânio com diâmetro de 2,4 mm. Argônio puro e mistura de Argônio com Hidrogênio constituem os gases de proteção para utilização durante os procedimentos.



Figura 5 - Bancada de ensaios à esquerda (A – Fonte de soldagem; B - Sistema de alimentação de arame; C - Tocha; D – Sistema de refrigeração; E –Robô antropomórfico) e a direita em destaque a tocha *TOPTIG*

4.3 EQUIPAMENTO DE MANIPULAÇÃO

Para manipulação da tocha de soldagem e interação com o sistema de controle, será utilizado um robô antropomórfico de 7 eixos (E) - *YASKAWA SIA10D* - que permite a integração de um dispositivo AVC permite o controle de altura do arco elétrico, ideal para aplicações com o processo TIG.



Figura 6 - Robô antropomórfico SIA10D

4.4 FILMAGEM DE ALTA VELOCIDADE

Com intuito de entender os fenômenos físicos relacionados do processo, principalmente relacionado a transferência metálica e posição de inserção do arame, será feita a monitoração utilizando uma câmera de alta velocidade IDT MotioPro Y4-S2 que conta com um módulo IDT para aquisição dos dados de tensão e corrente com a imagem gerada.



Figura 7 - Câmera de alta velocidade MotioPro Y4-S2

5 METODOLOGIA E CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Como principal abordagem o trabalho apresentará o estudo de um novo conceito de tocha TIG com alimentação tangencial, único no Brasil. Aliado a este desenvolvimento buscase melhor interação deste processo com aplicações de Engenharia voltada principalmente para a Indústria de Petróleo e Gás.

Primeiramente, ensaios preliminares foram realizados em corrente contínua e pulsada, variando distância eletrodo-peça, velocidade de soldagem e velocidade de alimentação para o conhecimento e melhor entendimento das limitações do processo. Os testes foram realizados utilizando-se arame de aço carbono ER70S-6.

Atualmente, está sendo realizada a investigação do processo utilizando-se a liga de Níquel 625 visando aplicações de revestimento por meio das diferentes possíveis parametrizações, principalmente relacionado a forma de inserção do arame o que segundo a literatura é uma importante variável para melhor controle do processo.

No decorrer do estudo também serão realizadas filmagens com câmera de alta velocidade aliado a um módulo IDT para aquisição de dados elétricos para compreensão das diferentes formas de transferência metálica e análise do comportamento do arame ao ser inserido pela frente ou por trás da poça de fusão. Também será estudado o comportamento do sistema de tracionamento *push-push* o qual permite a sincronização do arame com a corrente de soldagem. É possível configurar pulsações de até 200 Hz, no entanto, este fato será melhor discutido e avaliado para verificação de confiabilidade de resposta do sistema.

Também estão programados ensaios utilizando-se um sistema TIG com arame quente e posterior análise comparativa com alimentação de arame frio tangencialmente em termos de qualidade e produtividade. Todos os ensaios a serem realizados serão utilizados dois tipos de gases buscando avaliar também a influência do H₂ sobre o processo em termos de produtividade e aplicações.

Além de investigar o processo para propósitos de revestimento, este trabalho também traz em seu escopo o estudo da técnica para finalidades de união. Desta forma, com o objetivo de estudar a técnica para aplicações de união serão realizados ensaios em diferentes posições de soldagem visando sua utilização em tubos de aços cladeados.

Atividades:

- I. Estudo e análise crítica do processo por meio de literatura já existente;
- II. Ensaios preliminares;

- III. Realizar ensaios e analisar o comportamento das diferentes condições do processo com alimentação tangencial e filmagem de alta velocidade;
- IV. Avaliar o processo TIG *hot wire* e comparar com os resultados obtidos com TIG alimentado tangencialmente;
- V. Comparar os resultados obtidos com outros processos TIG e qualificar a eficiência do novo processo em termos de produtividade;
- VI. Investigar o processo para aplicações de união em tubos para indústria de Petróleo e Gás;
- VII. Elaborar dissertação;
- VIII. Defesa da dissertação.

6 ENSAIOS PRELIMINARES

Buscando o melhor conhecimento do novo conceito de tocha apresentado, foram realizados ensaios preliminares utilizando-se como metal de adição o aço carbono – ER 70S-6 no qual foram avaliados dois modos de inserção de arame, pela frente e por trás da poça de fusão. Também visou-se investigar o comportamento da transferência metálica – ponte ou destacada - possíveis riscos de contaminação devido à proximidade do eletrodo com o arame e a peça, influência do nível corrente sobre o cordão soldado e também a velocidade de soldagem.

Identificou-se melhores condições de soldagem com a alimentação por trás da poça de fusão, assim como recomenda o fabricante, além de entender que valores de distância eletrodo peça da ordem de 3mm apresentam transferência metálica por ponte e valores acima de 5mm percebe-se uma tendência de destacamento das gotas. Atribui-se este fenômeno em função do arame entrar em contato com o arco elétrico longe da poça de fusão, não permitindo que este se funda já dentro da poça. Ensaios com a distância eletrodo peça na ordem de 3 mm torna-se necessário o bom ajuste dos parâmetros de abertura do arco, alimentação de arame, e início da movimentação da tocha sob o risco de contaminação do eletrodo.

Além disso, foram observados que valores de velocidade de soldagem na ordem de 25 cm/min, há uma tendência de convexidade no cordão de solda, o que inviabiliza por exemplo aplicações para revestimento. Este fato, tem como solução o aumento da corrente de soldagem.

Investigada estas limitações da máquina foi possível a realização de uma soldagem preliminar de revestimento utilizando-se o próprio aço carbono como material de adição para entender o comportamento do processo em vista de aplicações. Os parâmetros utilizados foram

baseados nos cordões simples realizados primariamente e os resultado obtido foi bastante satisfatório que pode ser visualizado abaixo (figura 8).

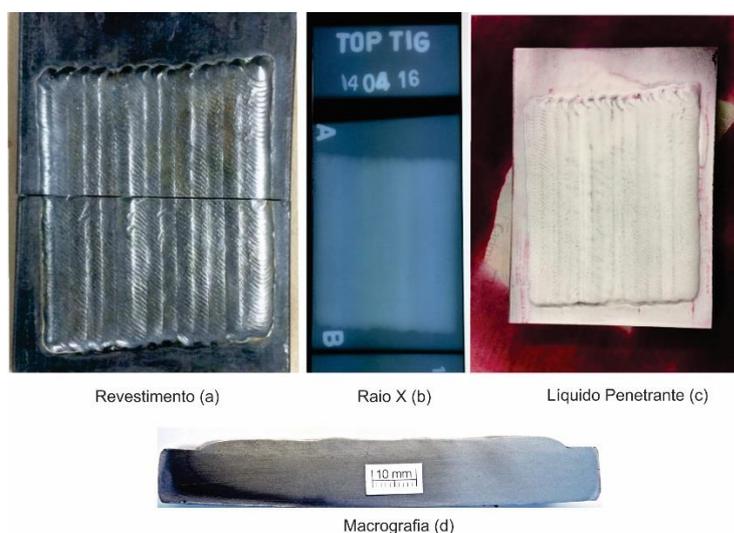


Figura 8 - Revestimento (a); Avaliação por meio da técnica Raio-X (b); Líquido Penetrante (c); Macrografia (d)

Para a realização dos ensaios acima foram utilizados os parâmetros a seguir:

Tabela 2 - Parâmetros para o revestimento

Procedimento	Todos os passes
Processo de soldagem	TOPTIG
Metal de adição / Diâmetro de arame	ER 70S-6/1,0mm
Corrente Média (A)	195
Corrente de pré aquecimento (A)	150
Tempo de pré aquecimento (s)	2
Velocidade de arame (m/min)	2,2
Velocidade de soldagem (cm/min)	10
Amplitude de tecimento (mm)	3
Frequência de tecimento (Hz)	1
Espaçamento entre cordões (mm)	6

Para uma avaliação além do visual da qualidade do cordão, foi proposto a realização de dois ensaios não destrutivos – Raio X e Líquido Penetrante – com o intuito de investigar a técnica utilizada. Os resultados mostram um nível de diluição da ordem de 39%, no entanto, novos ensaios serão realizados para avaliação estatística. Apesar do considerável nível de diluição que não é recomendado para aplicações de revestimento observou-se a ausência de defeitos como falta de fusão, poros, dentre outros.

Outro teste realizado para investigação do processo foi uma configuração de movimentação circular (figura 9) em que foi possível avaliar o aspecto externo do cordão em relação as diferentes posições de entrada do arame. Observa-se um resultado satisfatório em

termos de aparência externa do cordão, no entanto percebe-se que há diferença na posição de inserção do arame. Desta forma, serão realizados novos ensaios com o processo TopTIG e também com o processo TIG convencional para melhor compreensão deste comportamento da entrada de arame.

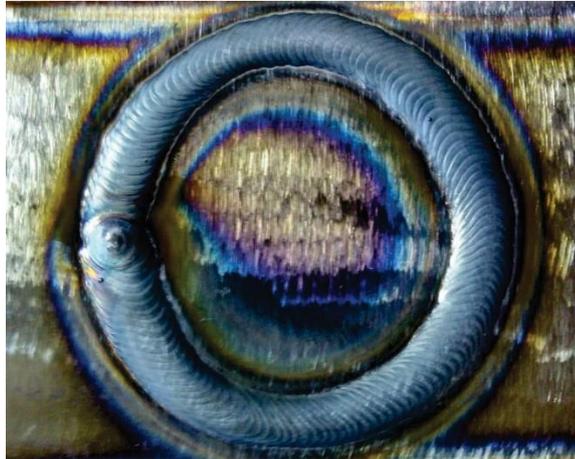


Figura 9 - Avaliação da largura do cordão pela posição de entrada do arame na poça de fusão

Sabe-se da diferença entre propriedades metalúrgicas entre os materiais, no entanto, a partir dos ensaios preliminares realizados, foi possível adquirir melhor conhecimento do processo e assim realizar o planejamento de novos procedimentos baseados nos dados coletados utilizando-se outros materiais, como a liga de Níquel 625.

7 PREVISÃO FINANCEIRA

Em virtude da infraestrutura presente no LABSOLDA, equipamentos de custo mais elevados para as atividades propostas, tais como fonte de soldagem e manipuladores robóticos, já estão disponíveis para os ensaios. No entanto para fins de visualização dos custos totais para a realização dos objetivos firmados equipamentos já adquiridos também fazem parte da previsão financeira. A previsão dos custos é mostrada na tabela abaixo.

Tabela 3 - Previsão financeira

Custos estimados para o projeto		
Equipamento de soldagem	R\$	170.000,00
Corpos de prova	R\$	5.000,00
Metalografia	R\$	4.800,00
Câmera de alta velocidade	R\$	82.500,00
Total	R\$	262.300,00

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

1. Technologies, F. *Enhanced Horizontal Subsea Tree (EHXT)*. [cited 2016 06/21]; Available from: <http://www.fmctechnologies.com/en/SubseaSystems/Technologies/SubseaProductionSystems/SubseaTrees/EHXT.aspx>.
2. Spence, M.A., et al., *Bi metal, CRA-lined pipe employed for North Sea field development*. Oil and Gas Journal, 1999. **97**(18): p. 80-88.
3. Murugan, N. and R. Parmar, *Effects of MIG process parameters on the geometry of the bead in the automatic surfacing of stainless steel*. Journal of Materials Processing Technology, 1994. **41**(4): p. 381-398.
4. Kannan, T. and N. Murugan, *Prediction of ferrite number of duplex stainless steel clad metals using RSM*. WELDING JOURNAL-NEW YORK-, 2006. **85**(5): p. 91.
5. Davis, J.R., *Stainless steels*. 1994: ASM international.
6. Modenesi, P.J., P.V. Marques, and A.Q. Bracarense, *Soldagem-fundamentos e tecnologia*. 2005: Editora UFMG.
7. Kumar, V., et al., *CRA Weld Overlay-Influence of welding process and parameters on dilution and corrosion resistance*. Stainless Steel World America, Houston, 2010.
8. Pollock, T.M. and S. Tin, *Nickel-based superalloys for advanced turbine engines: chemistry, microstructure and properties*. Journal of propulsion and power, 2006. **22**(2): p. 361-374.
9. Perepezko, J.H., *The hotter the engine, the better*. Science, 2009. **326**(5956): p. 1068-1069.
10. Hodge, F.G., *The history of solid-solution-strengthened Ni alloys for aqueous corrosion service*. JOM, 2006. **58**(9): p. 28-31.
11. Lippold, J.C., S.D. Kiser, and J.N. DuPont, *Welding metallurgy and weldability of nickel-base alloys*. 2011: John Wiley & Sons.
12. Rozmus-Górnikowska, M., M. Blicharski, and J. Kusiński, *Influence of weld overlaying methods on microstructure and chemical composition of Inconel 625 boiler pipe coatings*. Metallic Materials, 2014. **52**(3): p. 1-7.
13. dos Santos, A.X., T.M. Maciel, and R.A.C. de Santana, *Avaliação de Revestimentos à base de Inconel 625 depositados através do Processo de Soldagem GMAW em aço API 5L X70 utilizando Planejamento Fatorial*. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, 2015. **34**(3): p. 128-140.
14. Graf, K., *Estabilidade a alta temperatura de revestimentos de HASTELLOY C depositados por PTA*. 2004.
15. Sims, C.T., N.S. Stoloff, and W.C. Hagel, *superalloys II*. 1987.
16. Brooks, C.R. and C.R. Brooks, *Heat treatment, structure and properties of nonferrous alloys*. Vol. 4. 1982: American Society for metals Metals Park, OH.
17. Mankins, W. and S. Lamb, *Nickel and nickel alloys*. ASM International, Metals Handbook, Tenth Edition., 1990. **2**: p. 428-445.
18. Institute, N., *Castings - Stainless Steel & Nickel-Base (11022)*. Nickel Institute. p. 2-4.
19. Ribeiro, J.C.B., *Análise de técnicas para a soldagem TIG automatizada*. 2012.
20. Scotti, A. and V. Ponomarev, *Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho*. 2008: Artliber.
21. Schwedersky, M.B., et al., *Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos*. Soldagem e Inspeção, 2011. **16**(34): p. 333-340.

22. Tusek, J. and M. Suban, *Experimental research of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of high-alloy stainless steel*. International journal of hydrogen energy, 2000. **25**(4): p. 369-376.
23. Hooijmans, J.W., *Hydrogen absorption in iron and steel during gas tungsten arc welding*. 1995: TU Delft, Delft University of Technology.
24. O'Brien, R., *Welding Handbook. Volume 2: Welding Processes.(Retroactive Coverage)*. American Welding Society, 1991, 1991: p. 955.
25. Schwedersky, M., et al., *Two-dimensional arc stagnation pressure measurements for the double-electrode GTAW process*. Science and Technology of Welding and Joining, 2016. **21**(4): p. 275-280.
26. Ueguri, S., et al., *Control of deposition rates in hot wire TIG welding*. Welding International, 1987. **1**(8): p. 736-742.
27. Madsen, O. and M. Wilson, *TIP TIG: new technology for welding*. Industrial Robot: An International Journal, 2007. **34**(6): p. 462-466.
28. Opderbecke, T. and S. Guiheux, *TOPTIG: robotic TIG welding with integrated wire feeder*. Welding International, 2009. **23**(7): p. 523-529.
29. Vergara Díaz, V., J.M. Cortes, and A. Espinosa Alvarez, *A Contribution to the Study of Cold Wire TIG Process in Flat, Vertical and Overhead Positions under New Torch Designs and Wire Feed Methodologies*. Soldagem & Inspeção, 2015. **20**(3): p. 275-286.
30. Turyk, E., et al., *Technological Conditions of Mechanised TIG Welding using Various Systems Adjusting Current and Electrode Wire Feeding Parameters*. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, 2015. **59**(5): p. 13--18.