

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
ENGENHARIA MECÂNICA**

**DAVI PEREIRA DA SILVA
EDERSON LUIZ PIRES DA SILVA**

INOVANDO PARA MELHORAR O PROCESSO DE SOLDAGEM

Taubaté
2018

**DAVI PEREIRA DA SILVA
EDERSON LUIZ PIRES DA SILVA**

INOVANDO PARA MELHORAR O PROCESSO DE SOLDAGEM

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Professor Me. Carlos Evany Pinto.

Taubaté
2018

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S586i Silva, Davi Pereira da
Inovando para melhorar o processo de soldagem / Davi Pereira da
Silva; Ederson Luiz Pires da Silva. -- 2018.
35 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Me. Carlos Evany Pinto, Departamento de Engenharia
Mecânica.

1. Melhoria. 2. Solda. 3. TIG. I. Título. II. Silva, Ederson Luiz Pires da.
III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 671.56

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**DAVI PEREIRA DA SILVA
EDERSON LUIZ PIRES DA SILVA**

INOVANDO PARA MELHORAR O PROCESSO DE SOLDAGEM

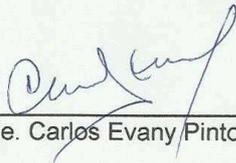
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

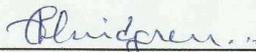


Prof. Me Fábio Henrique Fonseca Santejani

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Me. Carlos Evany Pinto (Orientador)



Profa. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren



Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradecemos aos nossos pais que nos incentivaram todos os anos que estivemos na faculdade.

Ao professor Carlos Evany Pinto, pela sabedoria e determinação com que nos orientou durante a realização deste trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

Na empresa ALFA Isolamento ^{Acústico}, seu processo de fabricação é feito por estampagem e corte, usando prensas hidráulicas. O material da sua ferramenta é o ferro fundido, que possui uma resistência a compressão e custo-benefício satisfatórios. Com o passar do tempo e seu uso freqüente, necessita de manutenção quando quebra ou aumenta a espessura da faca que é usada na prensagem. O procedimento que a instituição usa é com a soldagem com eletrodo revestido, eletrodo ENiFe-CI OK 92.58. O objetivo deste trabalho é implantar o processo de *TIG* (Tungsten Inerte Gás), demonstrando para a fábrica que, no final, será o melhor processo. Foram realizados vários testes começando pelo corpo de prova com ensaios destrutivos no laboratório da Universidade de Taubaté (Unitau), e não destrutivos na fábrica, analisando-se o melhor custo benefício (levantamento dos materiais gastos no processo e o tempo). Com os resultados obtidos, serão feitos um PS (plano de soldagem) e um RQP (registro de qualificação de procedimento) para a empresa.

Palavras-chave: Solda, melhoria e *TIG*.

ABSTRACT

In the ALFA factory, sound insulation company, the manufacturing process is made by stamping and cutting, using hydraulic presses, the tool material is cast iron, once that this tool breaks or loses the correct thickness to the pressing. The procedure that the company use to do is welding by electrode coated DIN 8573 ENiFe. The goal of this work is to implant the TIG (Tungsten Inert Gas), showing to the company that it will be the best process to do. We have done many tests, starting with the specimen, and all the destructives tests in the University of Taubaté (Unitau) laboratory, and the non-destructive tests were done in the company, then it was analyzed the best cost benefit (Analysis of materials spent in process and time). With the results that we will get trough this GT, will be done a WP (Welding plan) and PQR (Procedure Qualification Record) to the company.

Key words: Welding, Improvement and TIG.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PROCESSO DE SOLDAGEM ELETRODO REVESTIDO.	11
FIGURA 2: PROCESSO <i>TIG</i>	14
FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DE CALOR ENTRE O ELETRODO E A PEÇA DE PENETRAÇÃO	15
FIGURA 4: TABELA DE CLASSIFICAÇÃO AWS.	17
FIGURA 5: PROCESSO DE SOLDAGEM ELETRODO.	20
FIGURA 6: METALOGRAFIA.....	21
FIGURA 7: BOCAIS PARA GASES DE PROTEÇÃO.	26
FIGURA 8: REGULADOR DE GÁS PARA SOLDA <i>TIG</i>	28
FIGURA 9: EPIS PARA SOLDAGENS.	31
Figura 10: Diferenças entre os processos.....	33

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: RESUMO CRONOLÓGICO DA HISTÓRIA DA SOLDAGEM.	12
QUADRO 2: ESPECIFICAÇÃO AWS A 5.32 MISTURAS TÍPICAS DE GASES DE SOLDAGEM ...	27

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: FOTO TIRADA ANTES DA SOLDAGEM.	25
FIGURA 2: FOTO TIRADA DEPOIS DA SOLDAGEM NO PROCESSO <i>TIG</i>	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
1.2 Objetivo Geral	09
1.3. Objetivo específico	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 História da solda.....	11
2.2 Processo <i>TIG</i>	13
2.3 Processo de eletrodo revestido	19
2.3. Material Ferro Fundido Cinzento	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Gases de proteção	26
3.2 Regulador de gás para solda <i>TIG</i>	28
3.3 EPI`s necessários	29
4 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO.....	32
5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

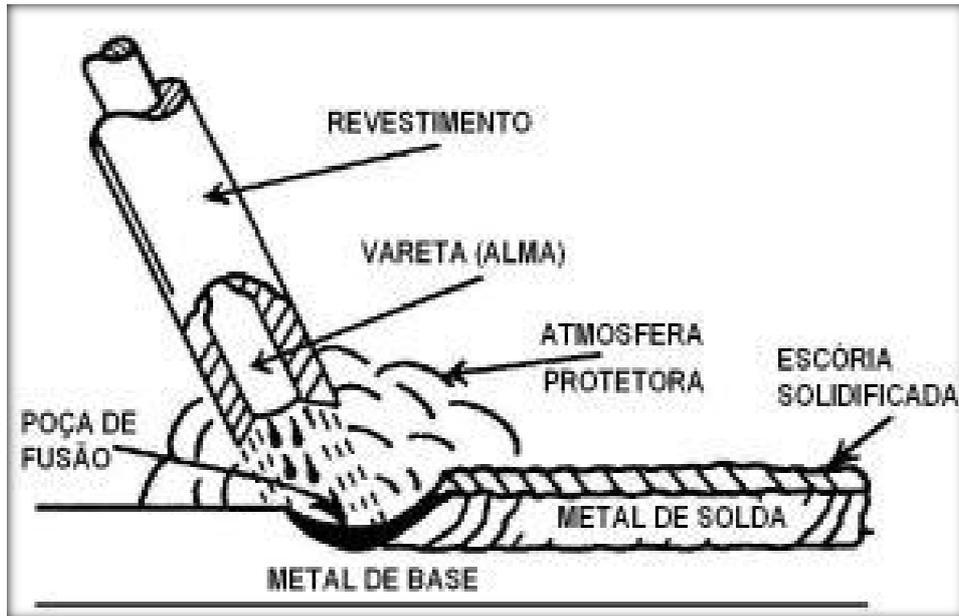
O sucesso da soldagem está associado a diversos fatores. A união de dois materiais é realizada através da fusão dos mesmos em pleno contato, ou pela fusão de ambos e adição de outro material; ou, ainda simplesmente por contato desses materiais, nas fases sólida ou semi-sólida. Entretanto, há competições entre os processos de união disponíveis, pois é possível que vários possam produzir resultados tecnologicamente similares. Nesse caso a escolha deve considerar aquele que é mais econômico e rápido.

A fabricação por soldagem ganhou espaço no início do século XX, após eclosão da Primeira Grande Guerra devido às necessidades da época, mas teve seu grande impulso durante a Segunda Guerra Mundial, devido à fabricação de tanque de guerra e aviões soldados. Apesar de o arco elétrico ser desenvolvido no século XIX, passou a ser utilizado mais intensamente como processo de fabricação. Desde então, a soldagem se desenvolveu rapidamente. Os processos foram aperfeiçoados, novos processos foram desenvolvidos, novos equipamentos e tecnologias incorporados à soldagem. Paralelamente, desenvolvimentos em outras áreas, como a eletrotécnica, a eletrônica e metalúrgica também contribuíram para o avanço da soldagem.

1.2 Objetivo Geral

Na empresa ALFA de isolamento acústico, o material da sua ferramenta é ferro fundido. Quando quebra ou sofre desgaste da faca que é usada na prensagem, o procedimento utiliza o eletrodo revestido. A soldagem é realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho (veja a Figura 1). O calor produzido pelo arco funde o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento. Quando as gotas do metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento. Porém, o primeiro passo de solda é pequeno, pelo derretimento do material de base, assim como é demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Processo de soldagem eletrodo revestido.



Fonte: ESAB Brasil. Disponível em:
http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm

Então, quando quebra ou sofre desgaste deixando de cortar a peça, gasta-se muito tempo utilizando o eletrodo para o reparo.

1.3. Objetivo específico

Como melhorar esse enchimento de solda para recurepação? Portanto, o objetivo desse trabalho é utilizar o processo *TIG* para o reparo da ferramenta, por não ter perda do material de base e alcançar um melhor acabamento, garantindo maior rapidez, melhor qualidade e conseqüentemente maior economia. Para garantir a qualidade iremos analisar o corpo de prova realizando ensaios de compressão, líquido penetrante e metalografia, e, na solda do reparo da faca serão feitos ensaios visuais e líquido penetrante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse trabalho relata a importância do controle dos processos, principalmente a da soldagem de materiais.

2.1 História da solda

Segundo Prof. Manoel Messias Neris, soldagem é a operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas necessárias ao seu desempenho. A solda é a junta resultante da operação de soldagem.

A história da soldagem mostra que desde as mais remotas épocas, muitos artefatos já eram confeccionados utilizando recursos de brasagem, tendo sido descobertos alguns com mais de 4000 anos; a soldagem por forjamento também tem sido utilizada há mais de 3000 anos. A técnica da moderna soldagem começou a ser moldada a partir da descoberta do arco elétrico, bem como também a sintetização do gás Acetileno no século passado, o que permitiu que se iniciassem alguns processos de fabricação de peças, utilizando estes novos recursos. Com o advento da Primeira Guerra Mundial, a técnica da soldagem começou a ser mais utilizada nos processos de fabricação. A Segunda Guerra Mundial imprimiu grande impulso na tecnologia de soldagem, desenvolvendo novos processos e aperfeiçoando os já existentes. O Quadro 1 apresenta um resumo cronológico da história da soldagem:

Quadro 1: Resumo cronológico da história da soldagem.

1801	Sir Humphey Davis descobre o fenômeno do arco elétrico
1836	Edmund Davy descobre o Acetileno
1889	N.G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico
1901	Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica
1903	Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica

1907	O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido
1919	C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem
1926	H.M. Hobart e P.K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico
1930	Primeiras normas para eletrodo revestido nos EUA
1935	Desenvolvimento dos processos de soldagem <i>TIG</i> e Arco Submerso
1948	H.F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem <i>MIG</i>
1950	França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons
1953	Surgimento do processo <i>MAG</i> Primeiras aplicações do processo <i>PLASMA</i> convencional
1957	Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa
1958	Desenvolvimento do processo de soldagem por eletro-escória, na Rússia
1960	Desenvolvimento de processo de soldagem a laser, nos EUA
1970	Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem

Fonte: Apostila Prof. Manoel Messias Neris, 2012.

2.2 Processo *TIG*

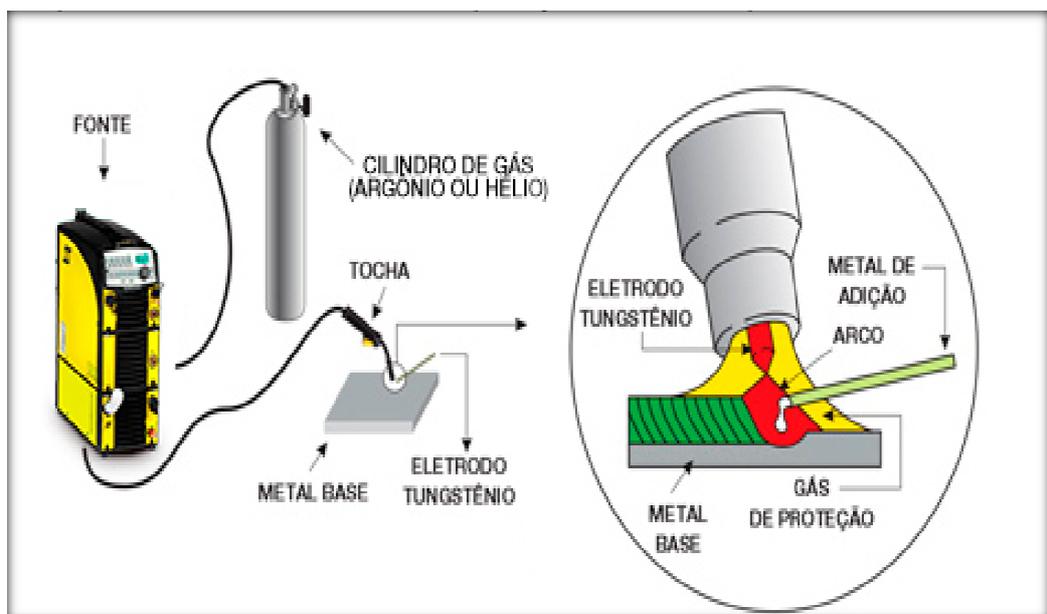
Em 1941, Russel Meredith e V.H.Pauleka (EUA) desenvolveram a solda *TIG* (com patente concedida em 1942), sendo o processo inicialmente denominado “Heliarc”, pois utilizava o gás hélio para a proteção. As primeiras aplicações foram somente sobre magnésio e suas ligas.

A soldagem *GTAW* é o processo no qual a soldagem dos metais é obtida pelo aquecimento dos mesmos por um arco estabelecido entre um eletrodo não

consumível de tungstênio e a peça. A proteção do eletrodo e da zona da solda é feita por um gás inerte, hélio ou argônio. Normalmente o argônio é mais usado por ter menor custo. O metal de adição pode ser utilizado ou não. A soldagem *TIG* pode ser manual ou mecanizada e é considerado o processo mais controlável no que se refere à soldagem a arco. As suas principais variáveis são: corrente de soldagem, composição, diâmetro e forma do eletrodo, composição do gás de proteção e metal de adição. O equipamento básico do processo consiste em fonte de energia de corrente contínua (CC) para a maioria das ligas metálicas, e corrente alternada (CA) tocha com eletrodo de tungstênio, fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco (geralmente um ignitor de alta frequência) (MACHADO, 1996).

Este processo de soldagem é mais conhecido no Brasil pela sigla em inglês *TIG* (*Tungsten Inert Gas*). Neste, um eletrodo não consumível de tungstênio puro, ou composto com outros metais ou óxidos, gera um arco elétrico com a peça que, juntamente com a poça de fusão assim formada, é protegida da atmosfera por um gás inerte (geralmente argônio), conforme a Figura 2, ilustrando esquematicamente o processo *TIG* (MACHADO, 1996).

Figura 2: Processo TIG.



Fonte: ESAB Brasil. Disponível em:
http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm

Por sua vez, a polaridade da corrente afeta tanto a distribuição de calor entre o eletrodo e a peça, quanto a penetração, conforme ilustra a Figura 3, sendo muito importante verificar a conexão elétrica antes do arco ser iniciado.

Figura 3: Distribuição de calor entre o eletrodo e a peça de penetração, em função da polaridade

Tipo de corrente	CC -	CC +	CA (Balanceada)
Polaridade de eletrodo	Negativa ou direta	Positiva ou inversa	
Fluxo de elétrons e íons			
Característica de penetração			
Ação de limpeza de óxidos	Não	Sim	Sim, em cada semi-ciclo
Balanco de calor no arco (aprox.)	70 % na peça 30 % no eletrodo	30 % na peça 70 % no eletrodo	50 % na peça 50 % no eletrodo
Penetração	Estreita e profunda	Rasa e Superficial	Média
Aplicação	Aço, Cu, Ag, Aços austeníticos ao Cr - Ni e ligas resistentes ao calor.	Utiliza-se correntes pequenas. Não viável para correntes elevadas.	Al, Mg, e suas ligas.

Fonte: ESAB Brasil. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/index.cfm>

As possíveis polaridades são, portanto;

a) Corrente Contínua Eletrodo Polaridade Negativo (CCEN)

Esse é o tipo de corrente mais utilizado no processo *TIG*. Nesse caso, no calor total gerado, cerca de 30% é produzido no eletrodo e 70% na peça, ocorrendo a maior penetração entre as três polaridades. A poça formada é estreita e profunda, o que pode ser indesejável em peças muito finas. Diferentemente das outras polaridades, esta não provoca ação de limpeza de óxidos superficiais na poça de fusão. Outrossim, se o eletrodo for de tungstênio puro, há em pontos catódicos sobre a superfície do mesmo, causando instabilidade do arco (MACHADO, 1996).

b) Corrente Contínua Eletrodo Polaridade Positiva (CCEP)

Em torno de 70% de calor total é gerado no eletrodo e 30% na peça, resultando na menor penetração entre todos os casos, com a poça de fusão rasa e larga. Apesar de produzir um arco com menor temperatura (mais “frio”), a CCEP pode ser interessante naquelas situações em que se deseja pouca penetração e eficiente remoção dos óxidos superficiais que se formam sobre a poça de fusão, pois há oscilação de pontos catódicos sobre a mesma, ou seja, realiza um desgaste excessivo do eletrodo, mas sua ação de limpeza é eficiente. Essas vantagens se aplicam para poucos metais (como o alumínio) sendo geralmente preferível soldar em corrente alternada, que provoca efeito similar, requer menos treino do soldador e pode conduzir a uma corrente mais alta para mesma bitola de eletrodo (MACHADO, 1996).

c) Corrente Alternada (CA)

A contribuição do calor total é aproximadamente igual entre o eletrodo e a peça, com a penetração sendo intermediária entre CCEN e CCEP. Devido a variação da tensão entre máximo valor positivo e negativo durante cada ciclo, o arco se extingue toda vez que o ponto nulo é cruzado. Como um transformador convencional não produz suficientemente uma alta tensão para re-estabelecer o arco em atmosfera inerte (de negativo para positivo), deve ser sobreposta uma tensão de alta frequência durante todo o tempo de soldagem. A CA produz uma excelente ação de limpeza dos óxidos superficiais na poça de fusão e é preferida na soldagem de alumínio, magnésio e cobre-berílio (MACHADO, 1996).

O eletrodo não consumível utilizado para soldagem é constituído de tungstênio puro ou ligado a diversos elementos químicos, pois a presença desses elementos de liga aumenta a capacidade de emissão de elétrons, além de permitir uma maior vida útil ao eletrodo. A classificação AWS, conforme a Figura 4, apresenta os valores máximos de cada elemento químico (NERIS, 2012):

Figura 4: Tabela de classificação AWS.

Classe AWS	W %	CeO ₂ %	La ₂ O ₃ %	ThO ₂ %	ZrO ₂ %	Outros % max.	Cor da ponta
EWP	99,5	-	-	-	-	0,5	Verde
EWCe-2	97,5	1,8-2,2	-	-	-	0,5	Laranja
EWLa-1	98,3	-	0,9-1,2	-	-	0,5	Preta
EWLa-1,5	97,8		1,3 a 1,7				Ouro
EWLa-2	97,3		1,8 a 2,2				Azul
EWTh-1	98,5	-	-	0,8-1,2	-	0,5	Amarela
EWTh-2	97,5	-	-	1,7-2,2	-	0,5	Vermelha
EWZr-1	99,1	-	-	-	0,15-0,4	0,5	Marrom
EWG	94,5	-	-	-	-	0,5	Cinza

Fonte: Infosolda. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/168-processo-tig-eletrodo.html>

d) Verde: É o eletrodo considerado “comum” e também é o mais barato deles. Contém 99,50% de tungstênio. Estes eletrodos, formam uma pequena bola em sua ponta após ser utilizado, e fornecem uma excelente estabilidade no arco em soldagem *TIG AC*. Utilizado para soldagens de alumínio e magnésio, não deve ser utilizado em soldagens *TIG DC* (eletrodos com Tório ou Cério oferecem melhor estabilidade de arco nesta situação) (Neris, 2012).

e) Laranja: Foram introduzidos no mercado americano nos anos 80, para substituir os eletrodos com Tório, pois o Cério não é um elemento radioativo. Em relação aos eletrodos de tungstênio puro, apresentam mais facilidade para abrir o arco, oferecem melhor estabilidade de arco e reduz o “*burn-off*”. Os eletrodos operam com CA e CC em ambas polaridades (Neris, 2012).

f) Preta: Os eletrodos de tungstênio ligados com Lantânio foram desenvolvidos na mesma época daqueles com Cério pela mesma razão de não ser radioativo. As vantagens deste tipo são semelhantes aos de Ce (Neris, 2012).

g) Ouro: Este eletrodo é muito similar ao Cério. Com uma boa resistência ao desgaste, possui uma excelente performance em corrente contínua, corrente alternada e em altas amperagens. É a escolha ideal para evitar vários tipos de eletrodos e garantir uma qualidade incrível (Neris, 2012).

h) Azul: Contém no mínimo 97,8% de tungstênio e entre 1,30 e 1,70% de lantânio. Estes eletrodos tem uma excelente abertura de arco, estabilidade e re-ignição do arco. Ele pode substituir eletrodos com tório, sendo usado em processos de soldagem tanto AC como DC, mas mostra suas vantagens em soldagem de aços inoxidáveis, usando fontes pulsadas. Este eletrodo é uma excelente escolha para evitar de ter estoque de diversos tipos de eletrodos. A cor da ponta muda de acordo com o percentual de Lantânio no eletrodo, podendo esta na cor azul ou ouro (Neris, 2012).

i) Amarela: Contém no mínimo 97,8% de tungstênio e 1,50% de lantânio. Estes eletrodos tem uma excelente abertura de arco, estabilidade e re-ignição do arco. Ele pode substituir eletrodos com tório, sendo usado em processos de soldagem tanto AC como DC, mas mostra suas vantagens em soldagem de aços inoxidáveis, usando fontes pulsadas. Este eletrodo é uma excelente escolha para evitar ter estoque de diversos tipos de eletrodos. Não emite poluição radioativa (Neris, 2012).

j) Vermelha: Contém no mínimo 97,30% de tungstênio e entre 1,7 e 2,2% de Tório. São os eletrodos mais utilizados atualmente, preferidos por causa da excelente vida útil e facilidade de uso. O tório aumenta a qualidade de emissão de eletrodos no arco, o que proporciona facilidade para iniciar o arco e soldagens com alta amperagens. Este tipo de eletrodo opera muito abaixo de sua temperatura de fusão, o que significa baixo desgaste e baixo risco de contaminação. É o eletrodo ideal para soldagem de aço carbono, aço inoxidável, níquel e titânio (Neris, 2012).

k) Marrom: Contém no mínimo 99,1% de tungstênio e entre 0,15 e 0,40% de Zircônio. Este eletrodo produz um arco extremamente estável e resistente a *tungstenspitting*. É perfeito para soldagens *TIGAC*, e mantém a ponta com muita resistência a contaminação. Em nenhuma circunstância, ele é recomendado para soldagens *TIG DC*. A cor da ponta muda conforme o percentual de zircônio no

eletrodo, podendo ser marrom ou branca. Recomendado para soldagem de ferro, aço carbono e aço inoxidáveis (Neris, 2012).

I) Cinza: Contém no mínimo 97,30% de tungstênio e entre 1,80 e 2,20% de Cério. Estes eletrodos tem sua melhor performance em soldagem *TIG DC* em baixa amperagem, e também pode ser utilizado, com eficiência, em soldagem *TIG AC*. Este eletrodo tem uma abertura de arco excelente em baixa amperagem e é popular para quem solda tubos, pequenas peças, materiais finos e delicados, etc. É uma escolha que substitui os eletrodos com tório e pode ser usado em aço carbono, aço inoxidável e titânio. Não é recomendável soldagens em altas amperagens com este eletrodo. Nestas situações, o óxido de cério emigra rapidamente para a ponta quente do eletrodo, removendo o óxido e anulando seus benefícios. Curiosamente, um soldador dificilmente distinguirá se está soldando um eletrodo com cério ou tório (Neris, 2012).

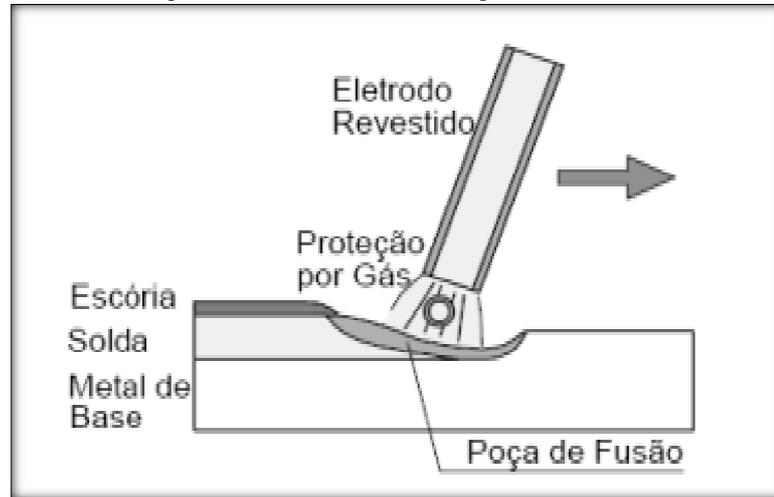
De acordo com levantamento de dados feito em campo, elencamos algumas vantagens e desvantagens do processo *TIG*:

a) **Vantagens:** Solda com espessuras a partir de 0,2mm, mas requer soldadores altamente qualificados, excelente controles da poça de fusão; permite soldagem sem o uso de metal de adição; pode ser usado para soldar a maioria dos materiais; produz solda de alta qualidade e excelente acabamento; gera pouco ou nenhum respingo; exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem; permite a soldagem em qualquer posição (APOSTILA SUMIG).

b) **Desvantagens:** Processo de baixa taxa de deposição em soldagem manual (1,3 kg / hora); custo de equipamentos e consumíveis é relativamente elevado (APOSTILA SUMIG).

2.3 Processo de eletrodo revestido

Figura 5: Processo de soldagem eletrodo.



Fonte: PLASMAC

Em 1904, Oscar Kjellberg, um engenheiro sueco, tinha um problema: ele precisava melhorar a qualidade dos trabalhos de reparo em navios e caldeiras em Gothenburg, o que resultou na invenção do primeiro eletrodo revestido, onde o revestimento era constituído, originalmente, de uma camada de material argiloso (cal), cuja função era facilitar a abertura do arco e aumentar sua estabilidade. Logo após, em 1907, Oscar Kjellberg patenteou o processo de soldagem a arco com eletrodo revestido (PAULO VILLANI MARQUES, 2000).

O eletrodo é formado por um núcleo metálico ("alma"), recoberto por uma camada de minerais e/ou outros materiais (revestimento). A alma do eletrodo, por sua vez, conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escória e gases que protegem da atmosfera a região sendo soldada e que estabilizam o arco. O revestimento pode ainda conter elementos que são incorporados à solda, influenciando sua composição química e características metalúrgicas. O equipamento necessário ao processo consiste em porta-eletrodo, cabos e fonte de energia, que pode ser de corrente contínua (CC) ou alternada (CA), dependendo do tipo de eletrodo e material a ser soldado (MACHADO, 1996).

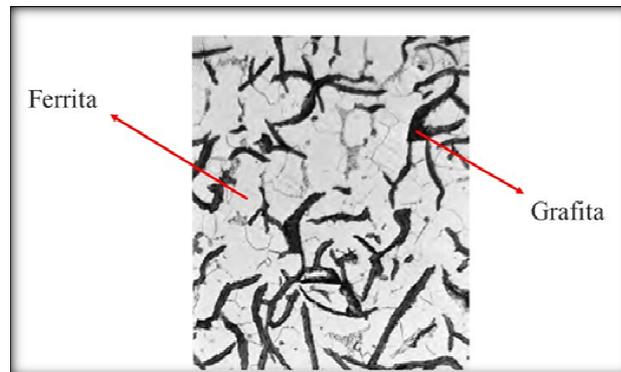
Em pesquisa de campo, levantamos também algumas vantagens e desvantagens do processo de eletrodo:

a) Vantagens: Taxa de deposição (entre 1,5 e 5 kg/h) para eletrodos de aço carbono superior a *TIG*; equipamentos simples, portáteis, baratos, não necessitam de fluxos ou gases externos, pouco sensíveis a corrente de ar; processo extremamente versátil em termos de materiais soldáveis; facilidade para atingir áreas restritas de acesso.

b) Desvantagens: dificuldade em trabalhar com amperagem baixa para soldas finas; aplicação difícil para materiais reativos; produtividade relativamente baixa; exige limpeza a cada passe de soldagem.

2.3. Material Ferro Fundido Cinzento

Figura 6: Metalografia.



Estrutura de ferro fundido cinzento do tipo hipoeutético, mostrando os constituintes perlita, ferrita e veios de grafita. Ataque: picral. Aumento: 100x.

Fonte: Colpaert, 1974.

O ferro fundido é uma liga de ferro-carbono que contém de 2 a 4,5% de carbono. É obtido diminuindo-se a porcentagem de carbono do ferro gusa. Geralmente a fusão do ferro gusa, para a obtenção do ferro fundido, é feita em fornos apropriados sendo o mais comum o forno “CUBILÔ”. Entre os ferros fundidos o cinzento é o mais comum, devido às suas características como baixo custo (em

geral é fabricado a partir de sucata); elevada usinabilidade, devido à presença de grafita livre em sua microestrutura; alta fluidez na fundição, permitindo a fundição de peças com paredes finas e complexas; e facilidade de fabricação, já que não exige equipamentos complexos para controle de fusão e solidificação (COLPAERT, 1974)

Colpaert (1974) elenca algumas vantagens e desvantagens da utilização do ferro fundido:

- a) Vantagens: alta dureza, alta resistência ao desgaste, fácil de usinar e possui grande capacidade de amortecer vibrações.
- b) Desvantagem: resistência a tração extremamente baixa.

3 METODOLOGIA

Na metodologia foi feito uma pesquisa de campo. Devido à necessidade da empresa, foi feito uma pesquisa aonde se achou a melhor forma de melhorar o produto custando menos ao longo do processo. Houve um investimento inicial com compra de máquina. Estudos foram feitos sobre ferros fundidos e obtivemos algumas informações, que listaremos a seguir.

Ferros fundidos apresentam várias características que dificultam sua soldagem, destacando-se:

- a) Alto teor de carbono e, em geral, de fósforo e de enxofre.
- b) Tendência a formação de cementita na região da solda devido a velocidade de resfriamento relativamente elevadas associadas com a soldagem.
- c) Baixa ductilidade do metal base e de sua zona termicamente afetada.
- d) Estrutura porosa dos ferros fundidos cinzento e nodular favorece a absorção de graxas e outras sujeiras durante o seu uso.

Plano de soldagem idealizado a partir dos testes realizados:

- a) Indispensável a limpeza adequada ao lugar a ser soldado.
- b) Soldagem com processo *TIG/CC (-)*.
- c) Uso de eletrodo tungstênio (com tório) no diâmetro 2,4 mm.
- d) Uso de argônio puro no gás de proteção.
- e) Caso a peça esteja com óleo fazer um pré-aquecimento, não ultrapassando os 300°C.
- f) Início da soldagem com tocha em inclinação de 15°.
- g) Necessário abafamento com manta térmica no cordão de solda, após o procedimento, a fim de garantir que a região de soldagem esfrie lentamente e ao mesmo tempo não tenha nenhum choque térmico.

As inspeções feitas são:

- a) **Inspeção visual**, onde é observado se há trincas, poros e se manteve o desenho correto da antiga saliência que chamamos de “faca”, pois é importante soldar e manter o alinhamento correto conforme o desenho do projeto, assim facilita e ganha-se tempo para o ajuste do ferramenteiro, que utiliza uma retífica com pedras de óxido de alumínio rosa, montada.
- b) **Inspeção com líquido penetrante**: O ensaio com Líquidos Penetrantes é considerado um dos melhores métodos de teste para detectar discontinuidades superficiais em materiais isentos de porosidade, como: metais ferrosos (utilizado em nosso trabalho) e não ferrosos, alumínio, ligas metálicas, cerâmicas, vidros, certos tipos de plásticos. Líquidos penetrantes também são utilizados para a detecção de vazamentos em tubos, tanques, soldas e componentes.

O líquido penetrante é aplicado com pincel, pistola, com lata de aerosol ou mesmo por imersão da peça no tanque contendo o líquido, aguardando certo tempo para que ocorra a penetração. Este método está baseado no fenômeno da capilaridade, que é o poder de penetração de um líquido em áreas extremamente pequenas devido a sua baixa tensão superficial. O poder de penetração é uma característica muito importante uma vez que a sensibilidade do ensaio é extremamente dependente do mesmo. Efetua-se a remoção deste penetrante da superfície por meio de lavagem com água ou remoção com solventes. A aplicação de um revelador (pó branco) irá mostrar a localização das discontinuidades superficiais com precisão e grande simplicidade, embora suas dimensões sejam ligeiramente ampliadas.

Descontinuidades em materiais fundidos: gota fria, trinca de tensão provocada por processos de têmpera ou revenimento, discontinuidades de fabricação ou de processo tais como trincas, costuras, dupla laminação, sobreposição de material. Trincas provocadas pela usinagem, fadiga do material ou mesmo corrosão sob tensão, também podem ser facilmente detectadas pelo método de Líquido Penetrante. As Figuras 01 e 02 ilustram o antes, a “faca” quebrada, eo depois, com a “faca” soldada.

Figura 1: Foto tirada antes da soldagem.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2: Foto tirada depois da soldagem no processo *TIG*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O que nota-se é uma solda com excelente acabamento, sem respingos, sem poros, com excelente fusão entre os materiais e uma maior facilidade para ajuste manual.

Conclui-se que com a solda *TIG*, o soldador consegue ajustar a máquina em uma amperagem mais baixa do que a eletrodo, e para soldar facas que na sua extremidade ou área de corte do tecido possui dois mm de espessura, é essencial uma amperagem baixa para que não derreta a faca e perca a configuração geométrica da ferramenta e se ganhe tempo.

3.1 Gases de proteção

Os gases de proteção mais utilizados são o Argônio e o Hélio, ou uma mistura de ambos; os gases são direcionados por bocais cerâmicos, metálicos ou por bocais tipo gás-lens, vistos abaixo, na Figura 7.

Figura 7: Bocais para gases de proteção.



Fonte: Tecnisolda. Disponível em: <http://www.tecnisolda.com.br/novidades/detalhes/bocal-tig-de-vidro>

O Argônio é o gás mais utilizado, principalmente devido ao menor custo e maior disponibilidade, mas possui outras vantagens como: arco mais suave e estável, sem turbulências; menor voltagem do arco, para um dado comprimento do arco; menor vazão de gás para uma boa proteção; facilita a abertura do arco (mais ionizável); resiste mais às correntes de ar.

O Hélio é utilizado para soldagem de materiais mais espessos, pois produz mais calor. Por ter a densidade menor que a do ar, é utilizado para soldagens sobre cabeça. Ele promove maior penetração do cordão e possui custo mais elevado que o Argônio, pois sua obtenção é difícil.

É bastante utilizada a mistura de Argônio e Hélio para algumas aplicações de soldagem, sendo seu uso bem difundido na soldagem *TIG* das ligas de alumínio, titânio, cobre e aços inoxidáveis. O objetivo é se beneficiar das melhores características de cada gás, aumentando a largura de fusão e melhorando a aparência do cordão de solda. Em alguns casos de soldagem são utilizadas misturas especiais, contendo H₂ (aços inoxidáveis). O hidrogênio atua com um agente redutor inibindo a formação de óxidos, o que resulta em superfícies mais limpas e também aumenta a energia do arco para uma determinada corrente, aumentando a penetração.

O nitrogênio é frequentemente utilizado como gás de purga ou de proteção da raiz, evitando contaminação com o ar atmosférico. Atualmente é utilizado em adições menores do que 3% em combinação com Argônio nos processos *TIG* e *MIG* para a soldagem de aços inoxidáveis duplex. Não é recomendado para a soldagem de aços carbono e baixa liga.

A especificação AWS A 5.32 se aplica aos gases de proteção utilizados nos processos de soldagem *TIG*. Os gases de proteção podem ser de um único tipo de gás (puro) ou de mistura de gases. A AWS A 5.32 identifica os componentes individuais dos gases como: A – Argônio ; He – Hélio ; H – Hidrogênio ; N – Nitrogênio.

Quadro 2: Especificação AWS A 5.32 para Misturas Típicas de Gases de Soldagem

Classificação AWS	Mistura Típica de Gás (%)	Gases de Proteção
SG-AHe-10	90/10	Argônio + Hélio
SG-AH-5	95/5	Argônio + Hidrogênio
SG-HeA-25	75/25	Hélio + Argônio
SG-A-G	Especial	Argônio + Mistura

Fonte: Dados da pesquisa.

Como se podem utilizar todas as formas de corrente para soldagem *TIG*, normalmente se utiliza um transformador/retificador que pode fornecer tanto CC como CA.

3.2 Regulador de gás para solda *TIG*

A Figura 8 ilustra um regulador de gás para solda *TIG*. O manômetro da direita marca a pressão interna do cilindro, com isto possibilitando o cálculo de quanto de gás gastou ou ainda tem dentro do cilindro. No Brasil, segundo as normas da ABNT devemos utilizar a medida de pressão Kgf/cm^2 . O manômetro da esquerda marca a vazão com que o gás sai do cilindro, também conhecida como pressão de trabalho. Para medir esta vazão, utilizamos a escala em litros/minuto.

Ele ainda tem uma válvula de segurança, para o caso de o cilindro estar acima de $220 \text{ kgf}/\text{cm}^2$. Se isto ocorrer, a válvula deve romper por questões de segurança. Uma maneira de ver esta válvula em ação é, por exemplo, em cima situação em que o cilindro ficou ao sol, aumentando assim sua temperatura e, conseqüentemente, a pressão interna dele. Apertando ou soltando o registro central, você aumenta e diminui o fluxo de saída do CO_2 . Quando você compra um regulador, ainda acompanha um niple na medida $5/16''$ para você colocar na saída dele.

Figura 8: Regulador de gás para solda *TIG*.



Fonte: Guias e Tutoriais. Regulador de gás para solda *TIG*. Disponível em: <http://guias.oxigenio.com/regulador-de-gas-para-solda-tig>

3.3 EPI's necessários

Nas normas regulamentadoras em sua subdivisão determina que o empregador é o responsável pela implementação das medidas de proteção. Para tanto, deve designar um profissional para a aplicação das normas, adotar estratégias para prevenir acidentes e interromper os trabalhos em casos de perigos para a saúde do trabalhador. A normativa ainda determina que a empresa precisa fazer uma Análise Preliminar de Risco (APR) e a emissão da Permissão de Trabalho (PT). Os colaboradores devem receber orientações sobre as medidas de proteção e os eventuais riscos da atividade mediante cursos com carga mínima de 6 horas.

Para evitar riscos à saúde do trabalhador, a empresa deve oferecer os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) recomendados para cada função. Os principais EPIs são:

a) Avental ou casaca de raspa, mangotes e perneiras: O avental ou casaca pode ser do tipo barbeiro, sem mangas ou blusão, e a escolha varia apenas de acordo com o conforto oferecido ao usuário, já que ambos oferecem o mesmo tipo de proteção.

Ele não dá segurança apenas à solda, visto que muitas vezes os trabalhadores utilizam esmerilhadeiras para fazer o acabamento das peças e ficam expostos às partículas multidirecionais. Logo, é aconselhável elevar o nível de proteção para o corpo inteiro.

O mais indicado é que os EPIs para trabalho com solda não tenham peças metálicas, como fivelas, em função do risco de contato com partes energizadas das máquinas de solda. Para tanto, pode-se utilizar o velcro no lugar.

b) Luvas de cano longo: Elas devem possuir cano longo para proteger as mãos e parte do braço do trabalhador. As luvas mais sofisticadas são costuradas com linhas de aramida, o que confere mais resistência ao material. Isso também minimiza os casos de aberturas que podem expor o colaborador ao risco de queimaduras.

c) Touca de algodão ou de raspa: As toucas usadas para proteger os trabalhadores não devem conter materiais sintéticos, pois eles podem incendiar

facilmente quando expostos a fontes de calor ou respingos de solda. Portanto, é necessário ter muita atenção na hora de escolher o material adequado para o colaborador.

d) Óculos de proteção: Eles devem oferecer proteção total contra partículas multidirecionais oriundas das atividades de acabamento de peças.

e) Botas de segurança: Os calçados adotados para trabalhadores em atividades de solda devem ter biqueiras, que podem ser de aço ou composite. Elas precisam ser costuradas com linhas resistentes a respingos e à borra de solda, sendo indispensável que elas contenham metatarso.

f) Máscara para soldagem:As máscaras mais comuns são compostas de material plástico (polímero) ou celeron. Embora sejam relativamente mais caras, as que possuem autoescurecimento figuram de maneira cada vez mais importante, já que minimizam um problema recorrente das atividades de solda: o profissional abaixar a máscara após iniciar a solda e levantá-la antes do término, o que o expõe à radiação. Com as máscaras automáticas, o conforto torna-se maior e o risco de exposição é reduzido.

g) Protetor auricular: Ele deve ser adotado em ambientes com avaliação ambiental de ruído. O anexo I da NR 15 sobre insalubridade determina que o trabalhador pode ficar exposto a, no máximo, 85 decibéis de ruído em uma jornada de trabalho de 8 horas. Se o volume for superior a esse, como em um desbaste de peças por esmerilhadeiras, é necessário adotar um protetor auditivo cuja atenuação seja suficiente para se enquadrar nos 85 dB.

Em qualquer processo de soldagem, é indispensável usar equipamentos de proteção individual. Para este trabalho, indicamos: máscara de solda com lente de proteção, óculos de proteção, abafador de ruído ou protetor auricular, botas com solado isolante, avental, mangotes, perneiras e luvas em couro (raspa ou vaqueta), além de máscara de proteção respiratória, caso o ambiente de soldagem não tenha

um sistema de exaustão para fumos e gases decorrentes do processo. A Figura 8 ilustra alguns desses equipamentos de segurança.

Figura 9: EPIs para soldagens.



Fonte: Dados da pesquisa.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO

4.1 Solda no Processo de Eletrodo Revestido

A solda com eletrodo revestido tem as seguintes etapas, iniciando-se a escolha do consumível ideal para o ferro fundido. Na ALFA usa-se eletrodo KESTRA SUPERNIFE, cuja composição é a base Ni-Fe. Utiliza-se uma inversora de 220 amperes, e é feito um pré-aquecimento para tirar toda umidade do local, não ultrapassando 300 °C. Depois de feita toda essa preparação, inicia-se o processo de soldagem. Após feito o cordão de solda, é imprescindível a retirada da escória, pois a limpeza incorreta compromete a qualidade e a fusão do material, pois a escória impede a fusão dos metais.

O resultado final da soldagem em eletrodo revestido é uma solda que se leva tempo muito grande, pois sua alma é de espessura maior do que a faca, tendo em vista que o diâmetro menor da alma é 2,5mm, precisando de mais energia pra fundir com o material basee, portanto, derretendo a faca e em alguns casos perdendo a configuração geométrica da ferramenta. Tem-se dois tipos de manutenção que são feitos nas ferramentas, com fresa CNC e com ajuste manual. Vejamos suas vantagens e desvantagens:

Fresa CNC:

- a) Vantagens: Em relação à *TIG*, quase nenhuma, mas tem boa fusão aquecido a 300 °C, e é resistente a compressão possuindo 180 HB de dureza.
- b) Desvantagens: Em relação à *TIG*, muito mais material para retirado na fresa CNC, ou seja, a solda final fica grossa e, conseqüentemente, necessita mais retirada no material. Portanto, há maior custo, pois são gastas mais pastilhas para usinar, maior tempo para ser usinado, porque tem que começar com ferramenta de desbaste e depois troca-se a ferramenta da fresa por uma de acabamento.

Ajuste manual:

- a) Vantagens: Boa fusão e não necessita de gás.

b) Desvantagens: Leva-se muito tempo para ajuste, pois tem muito material para ser retirado e afiado. O local soldado pode perder a referência pois, com este processo a faca é derretida até o metal base.

4.2 Solda no Processo TIG

As etapas da solda *TIG*, são as seguintes: Primeiro escolhe-se a vareta de adição. No caso do ferro fundido é NiFe, sua composição química é a base de Níquel e Ferro. A segunda parte é a escolha da máquina a ser utilizada. Na empresa ALFA utiliza a inversora 220 amperes e gás de proteção da poça de fusão Argônio. Na terceira etapa é feita a limpeza corretamente da área a ser soldada, não deixando impurezas no local. Já na quarta parte é feita a soldagem e, após o término da solda, não é necessária a limpeza da solda pois no processo *TIG* não tem respingo e nem escória.

O resultado final é um dos melhores para soldagem de facas, pois obtém-se maior qualidade de fusão, sem defeitos ou poros, economia de tempo, uma vez que nesse processo consegue-se excelente cordão de solda com uma fina camada sobre as facas e mantendo-se as geometrias padronizadas, como o projeto exige. Tem-se uma maior facilidade para acabamento tanto manual como pela máquina. Vejamos algumas vantagens e desvantagens:

Fresa CNC:

a) Vantagens: Gera economia de “enxerto” ou “pastilha”; tempo de usinagem reduz-se consideravelmente ao comparar com o processo de eletrodo, pois com *TIG* a fresa CNC utiliza ferramenta de acabamento direto, não necessitando a ferramenta de desgaste.

b) Desvantagens: Para o processo de soldagem com *TIG* exige-se um profissional qualificado.

Ajuste Manual:

a) Vantagens: Ganha-se uma economia de tempo para ajuste muito maior comparado ao eletrodo. Apesar de sua taxa de deposição ser menor, com a *TIG*

consegue-se o aumento da altura da face mais rápido, pois ela pode trabalhar em amperagem baixa.

b) Desvantagens: O processo *TIG* possui gás de proteção, já o eletrodo não precisa de gases externos para proteção porque já possui gás de proteção no seu revestimento.

4.3 Diferenças entre os processos

Figura 10: diferenças TIG e Eletrodo Revestido



Fonte: Dados da pesquisa.

A solda acima, ambos foram feitos com apenas um cordão de solda, sem acabamento, para mostra a real diferença após a soldagem.

Eletrodo revestido (SMAW) nota-se respingos na peça, um derretimento da face deixando sua altura menor do que antes de ser soldado, uma dificuldade maior para ajustar, pois há irregularidades tanto na espesura e na altura.

Tungsten Inert Gas (TIG) nota-se uma solda de excelente qualidade, sem respingos, uma solda fina e uniforme facilitando o ajuste.

5 CONCLUSÃO

A empresa sofria com atrasos de entrega de materiais, com quebra da faca da ferramenta, com tempo de ajuste feito pelo ferramenteiro e com gastos de materiais usados na usinagem.

Foi feito um estudo e aplicado uma melhoria de soldagem na empresa devido a necessidade de ganho de tempo e qualidade para obter maior durabilidade da ferramenta.

No processo *TIG*, apesar de sua taxa de deposição ser menor do que o eletrodo, a eficiência é bem vantajosa, pois se economiza tempo de ajuste, não deixando resíduo ou escória. Além disso, consegue-se trabalhar numa amperagem baixa que facilita o aumento de material, que no caso é o próprio ferro fundido, tendo como objetivo estar sempre com maior resistência à compressão do que propriamente o material original antes de ser soldado, assim obtendo maior durabilidade da ferramenta e garantindo uma peça com ótima qualidade.

Concluiu-se no final do estudo e aplicação da melhoria, que no processo *TIG* foram obtidos ganhos com tempo, custo e maior confiança dos clientes da empresa, já que os reparos ficaram rápidos de serem feitos. Na maioria dos casos são feitos sem parar a produção, aproveitando o horário de almoço da produção para efetuar-se a manutenção da ferramenta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. Edgar Blucher. São Paulo. 1974

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros fundidos**. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1977.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & técnicas conexas**. 1996

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem**. Eixo tecnológico: Controle e Processos Industriais. São Paulo, 2012.

WAINER, Emilio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO Fábio Décourt Homem. **Soldagem Processo e Metalurgia**. Edgar Blucher. São Paulo, 1992.

Sites consultados:

www.infosolda.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm (acessos em: 27/09/2018; 16/10/2018).

www.plasmac.com.br (acesso em 27/09/2018).

www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm (acesso em: 25/10/2018).

www.cpscetec.com.br/cpscetec/arquivos/apostila_soldagem.pdf (acesso em: 25/10/2018).

<http://guias.oxigenio.com/regulador-de-gas-para-solda-tig> (acesso em: 25/10/2018).

<http://www.tecnisolda.com.br/novidades/detalhes/bocal-tig-de-vidro> (acesso em: 01/10/2018).

https://www.sumig.com/arquivos/blog/apostilas/Apostila_Sumig_Processo_TIG.pdf (acesso em: 25/10/2018).

http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletro_dosrevestidos_ok.pdf (acesso em: 25/10/2018).