



**I Curso de Especialização em Engenharia Soldagem Turma
2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR**

ROZENIR ROSÁRIO SANTOS

**FORMAÇÃO DE MORDEDURAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM
MIG MAG**

CURITIBA-PR

2013

ROZENIR ROSÁRIO SANTOS

**FORMAÇÃO DE MORDEDURAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM
MIG MAG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Américo Scotti

CURITIBA-PR

2013


TERMO DE APROVAÇÃO

ROZENIR ROSÁRIO SANTOS

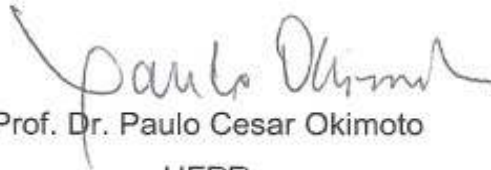
FORMAÇÃO DE MORDEDURAS EM PROCESSOS DE SOLDAGEM MIG MAG

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora :


Prof. Dr. Hélio Padilha
UFPR


Prof. Dr. Ramon Sigifredo Cortés Paredes
UFPR


Prof. Dr. Paulo Cesar Okimoto
UFPR

Curitiba, 30 de outubro de 2013.

Dedico esse trabalho à minha Esposa Solange, a meu filhos, Pedro Henrique, Raúl Lorenzo e Lucas Matheus, às minha filhas Bianca e Lidiara, e que saibam todos que eles são sim a razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por proporcionar grandes oportunidades em nossas vidas, nos concedendo sua benção e iluminando nossos caminhos e mentes para alcançarmos mais uma conquista.

Ao nosso Professor e coordenador do Curso, Paulo Okimoto e a todos os professores, pelos ensinamentos tão valiosos, paciência e dedicação.

Ao Orientador desse trabalho, Professor Américo Scotti, que teve a paciência necessária e a dedicação de seu tempo nessa orientação.

Aos meus filhos e pessoas especiais, Ozias Gonçalves, Edson Palermo, André Paiva, pelo companheirismo, amizade, colaboração e pelo empréstimo de seu tempo para a elaboração desse trabalho.

A Universidade Federal do Paraná, representada pelos seus Professores e Funcionários, pela oportunidade de utilizar os recursos ali disponibilizados a fim de permitir a realização deste trabalho.

A Volkswagen do Brasil, e em especial ao setor de recursos Humanos, que autorizou que ensaios referentes a essa monografia fossem realizados dentro da planta.

Progresso

Aparentemente uma pessoa pode progredir durante um certo tempo e então parar. Quando ela pára? Quando deixa de ter individualidade.

John Stuart Mill

RESUMO

O presente trabalho teve como finalidade tentar demonstrar o efeito da velocidade de soldagem, corrente de soldagem, tensão de soldagem e ângulo de ataque na ocorrência de mordeduras no processo de soldagem MIG/MAG. Para tal, soldagens na posição filete horizontal foram feitas sobre chapas sobrepostas de 2 mm de espessura, usando o processo MIG pulsado. Foi tentado variar os parâmetros acima de forma sistemática pela regulagem dos parâmetros do processo. Os resultados mostram que o aumento da velocidade de soldagem favorece a formação de mordedura. Porém, o planejamento experimental não permitiu variações sensíveis dos demais parâmetros para se tirar as conclusões do efeito dos mesmos sobre a formação de mordedura.

Palavras-chave: velocidade soldagem de tensão MIG/MAG; Parâmetros Primários

ABSTRACT

The present work had as purpose to try to demonstrate the effect of the speed of it welds, current of it welds, tension of it welds and attack angle in the occurrence of bites in the process of it welds MIG/MAG. such Para, you weld in the position horizontal fillet they were done on put upon foils of 2 mm of thickness, using the process pressed MIG. It was tried to vary the parameters above systematic form for the adjustment of the parameters of the process. The results show that the increase of the solda speed favors the bite formation. Even so, the experimental planning didn't allow sensitive variations of the other parameters to remove the conclusions of the effect of the same ones about the bite formation weld

Keyword: MIG / MAG; speed of it welds; discontinuities; Primary parameters

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Processo de soldagem MIG-MAG	13
Figura 2: Mordedura	17
Figura 3: Concentrador de tensões	17
FIGURA 4: Solda MIG	23
FIGURA 5: Solda MAG.	23
Figura 6: Velocidades ótimas de soldagem para diferentes gases utilizados no processoMIG/MAG. Fonte: Stenbacka (1989).	30
Figura 7 : Influência do stick-out na geometria do cordão de solda.	31
Figura 8: Influencia do diâmetro do eletrodo na penetração do cordão de solda.	Fonte: Phillips (1968)..... 32
Figura 9: Diagrama 6M para identificação de defeitos no cordão de Solda	33
Figura 10: Influência do posicionamento da tocha.....	35
Figura 11: Painel Frontal da Máquina TPS 4000	36
Figura 12: Componentes do sistema	37
Figura 13: Alimentador de arame.....	37
Figura 14: Unidade de arraste.....	38
Figura 15: Ilustração da placa de teste	39
Figura 16: ilustração do painel de regulagem do equipamento de soldagem	40
FIGURA 17 Politriz automática	40
Figura 18: Amostras metalográficas (macrografias)	41
Figura 19: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 1	43
Figura 20: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 2	43
Figura 21: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 3	44
Figura 22: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 4	44
Figura 23: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 5	45
Figura 24: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 6.	46
Figura 25: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 7	46
Figura 26: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 8	47
Figura 27: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 9	47
Figura 28 Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 10	47
Figura 29: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 11	48
Figura 30: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 12	49
Figura 31: Influencia do posicionamento da tocha.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Requisitos de composição química para arames de aços doces e de baixa liga.....	26
Tabela 2: Gases e misturas utilizados nos processos de soldagem MIG MAG	28
Tabela 3 : Parametrização do processo MAG para os diversos teste (Distancia bico de contato e peça, DBCP, de 15 mm e ângulo de trabalho de 45°);	42
Tabela 4: Tensão de Solda moitorada peças 1 a 10	48

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	IX
LISTA DE SIGLAS	X
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Tema	13
1.1.1 Delimitação geográfica do Tema	15
1.2 Delimitação do Problema	15
1.2.1 Descontinuidades.....	16
1.2.2 Definição	16
1.2.3 Principais Descontinuidades	16
1.2.4 – Mordedura	17
1.2.5 Definição	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4 JUSTIFICATIVA	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Conceitos de soldagem pelo processo MIG/MAG	19
2.2 Características do processo MIG /MAG	21
2.3 Vantagens do Processo.	23
2.4 Consumíveis	24
2.4.1 Arames de solda	24
2.4.2 Materiais ferrosos.....	25
2.4.3 Gases de Proteção.....	27
2.5 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG.....	28
2.6 Formação de Cordão na Soldagem MIG/MAG.....	33
2.7 EQUIPAMENTOS PROCESSO MIG MAG	36
2.7.1 Principais características.	36
2.7.2 Componentes do sistema de solda CMT	37
2.7.3 Alimentador de arame.....	37
2.7.4 Unidade de Arraste	38
3 MATERIAIS E METODOLOGIA.....	39
4 CONCLUSÕES	50
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE SIGLAS

AI1	regulagem da fonte, correspondente a uma altura de arco (varia de -30, arco mais curto, a + 30, arco mais longo)
AWS	American Welding Society
B _{1,2}	Largura de umidificação (mm)
b _{st}	Umidificação de borda (mm) ou (% da borda)
f _{1,2}	Profundidade de penetração da solda da chapa 1 e 2
h	Tamanho de uma irregularidade (Ex: tamanho de uma trinca em mm)
I	Corrente elétrica (A)
MAG	Metal Active Gás
MIG	Metal Inerte Gás
R	Resistência elétrica
S _L	Espessura da Junta de Soldagem (mm)
S _{NL}	Menor Espessura Comum da Junta de soldagem (mm)
t	Espessura de chapa
t ₁	Espessura de chapa 1 (mm)
t ₂	Espessura de chapa 2 (mm)
t _{min}	Menor espessura de chapa (mm)
t _r	Espessura da parede restante (no caso de contrações retrabalhos e polimento)
UFTPR	Universidade Federal Tecnológica do Paraná

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW–Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo. A FIGURA 1 mostra esse processo e uma parte da tocha de soldagem.

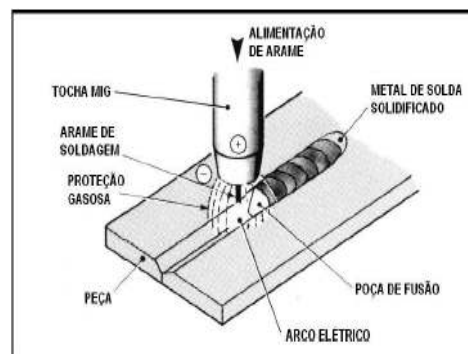


FIGURA 1: Processo de soldagem MIG-MAG

Fonte: Fortes C. (2004)

A soldagem no contexto geral é o processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição” (American Welding Society- AWS), é um dos principais processos de fabricação utilizados na indústria para a união de materiais, se mostra cada mais necessário e mais empregado. Tendo em vista a necessidade da garantia de qualidade e produtividade o processo de soldagem está em constante desenvolvimento. A soldagem está intimamente ligada às mais importantes atividades industriais que existem no mundo moderno, como a construção naval,

ferroviária, aeronáutica e **automobilística**, caldeiraria, construção civil metálica, indústria metalúrgica, mecânica e elétrica.

Na indústria automobilística um dos processos de soldagem largamente utilizados além do processo de soldagem por resistência e o processo de solda MIG/MAG que é um dos mais importantes processos de união de metais na atualidade. Isto se deve à sua alta capacidade de produção, característica constantemente cobijada pelas indústrias em seus processos de fabricação que para se manter o padrão e controle de qualidade são utilizadas conceitos normatizados e procedimentos que garantam uma solda sem defeitos.

Solda: Substância metálica e fusível usada para unir peças também metálicas. (BUENO, 2000).

As principais discontinuidades - qualquer interrupção da estrutura típica ou esperada. Neste sentido pode se considerar como discontinuidade qualquer alteração na homogeneidade nas propriedades físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda nos processos de soldagem vários são os fatores que contribuem para o aparecimento de defeitos e imperfeições na soldagem ou na proposta final de um Produto se devem principalmente à falta de uma correta elaboração do Procedimento de Soldagem (EPS) destacando-se a melhor escolha de matérias de base, consumíveis, parâmetros elétricos pré-aquecimento, pós-aquecimento, tratamento térmico, condições ambientais preparação da juntas a serem soldadas entre outros.

A Qualificação dos Procedimentos de Soldagem, soldadores com habilidade, soldagem acompanhada de ensaios não destrutivos, mecânicos e macrográficos entre outros contribuem para uma solda com menor incidências de discontinuidades mantendo assim sua eficiência e eficácia. O trabalho de parametrização de solda mesmo obedecendo rigorosamente as normas especificadoras os processos de soldagem podem em relação aos resultados finais gerar discontinuidades no processo.

Na indústria metal mecânica em geral e principalmente na indústria automobilística, é de alta relevância estudar os fenômenos causadores dessas discontinuidades que devido ao alto volume de produção e a concorrência a cada dia mais acirrada se faz necessário a contenção de custos com retrabalho

garantindo assim volume de produção com qualidade dentro de programas pré-estabelecidos, competitividade e a fidelidade à marca.

1.1.1 Delimitação geográfica do Tema

O trabalho de pesquisa em questão teve a concordância de uma empresa montadora de automóveis com sede em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba, no setor de chapelonaria e armação onde a incidência de processos de soldagem se fazem presentes no dia a dia.

1.2 Delimitação do Problema

São vários os fatores que provocam descontinuidades nos processos de soldagem que devem ser observados e controlados, contribuindo para a melhoria do processo, designa-se como defeitos ou descontinuidade a qualquer interrupção da estrutura típica de uma junta soldada. Neste sentido, pode-se considerar como descontinuidade, a falta de homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda. A existência de descontinuidades em uma junta, não significa necessariamente que a mesma seja defeituosa. Esta condição depende da aplicação a que se destina o componente e é em geral caracterizado pela comparação das descontinuidades observadas ou propriedade medida com níveis estabelecidos em um código, projeto ou contato pertinente. Assim, considera-se uma junta soldada que contém defeitos quando esta apresenta descontinuidades ou propriedades que não atendam ao exigido pelas normas vigentes. Juntas defeituosas em geral, precisam ser reparadas ou mesmo substituídas (MODENESI, 2001). O grande problema normalmente enfrentado deve-se ao fato do aparecimento inesperado de condições adversas (por ex.: erro de procedimento durante a operação de soldagem, aparentemente sem influencia, gerando descontinuidades como concentradoras de tensões) que culminam na redução da vida útil do componente além da possibilidade de falhas.

1.2.1 Descontinuidades

1.2.2 Definição

São interrupções que ocorrem em uma estrutura soldada, afetando sua homogeneidade física, mecânica e metalúrgica. A descontinuidade pode ser considerada um defeito, se suas dimensões, natureza ou efeito combinado tornar a peça inaceitável, não possibilitando à aplicação de medidas corretivas.

1.2.3 Principais Descontinuidades

Entre os principais fatores no processo de soldagem MIG/MAG que causam descontinuidades, destacam –se:

- **Angulo excessivo de reforço:** ângulo entre os planos da superfície do MB e do tangente ao reforço da solda, acima do especificado;
- - **Deformação angular:** distorção angular na junta;
- - **Deposição insuficiente:** insuficiência de metal na face da solda;
- - **Desalinhamento:** juntas de topo não paralelas;
- - **Falta de fusão:** fusão incompleta entre a ZF e o MB, podendo estar localizada na ZL, entre passes ou na raiz;
- - **Falta de penetração:** insuficiência de metal na raiz;
- - **Inclusão metálica:** metal estranho ao MB;
- - **Penetração excessiva:** metal da ZF em excesso na raiz;
- - **Porosidades:** vazios internos na ZF;
- - **Rechupe de cratera:** falta de metal causado por contração da ZF;
- - **Reforço excessivo** = ângulo excessivo;
- - **Respingos:** gotas de metal aderidas nas superfícies frias;
- - **Mordedura:** depressão sob forma de entalhe no MB ao lado da ZF.

1.2.4 – Mordedura

1.2.5 Definição

Depressão sob forma de entalhe no MB conforme ao lado da ZF, Figura 2 o termo também usado para descrever reentrâncias agudas formadas pela ação da fonte de calor do arco entre um passe de solda e o metal de base ou um outro passe adjacente. Quando formada na última camada do cordão, a mordedura causa uma redução na espessura da junta e atua como um concentrador de tensão Figura 3. Quando formada no interior da solda, ela pode ocasionar a formação de uma falta de fusão ou inclusão de escória no caso de eletrodo revestido. Mordeduras são causadas por manipulação inadequadas do eletrodo, comprimento excessivo do arco e por corrente ou velocidade de soldagem elevadas. Na indústria automobilística o conceito de mordedura se caracteriza pelo enfraquecimento ou contração do material base na área ao lado da junta soldada e não é admitida quando a $t_r < 0.95 \cdot t$. (t_r é a espessura restante e “ t ” é a espessura da chapa.)



Figura 2: Mordedura



Figura 3: Concentrador de tensões

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Descrever o efeito de parâmetros operacionais sobre a formação mordedura no processo de soldagem MIG/MAG soldando chapas finas

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foi determinar especificamente o efeito dos seguintes parâmetros sobre a formação de mordedura:

- maior a tensão de soldagem (maior comprimento do arco),
- maior a velocidade de soldagem;
- maior a corrente de soldagem
- ângulo de ataque do tipo empurrando.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este TCC apresentou vários fatores que necessitam de controle dentro de um processo de soldagem sejam eles automáticos ou semi-automáticos na indústria em geral, visando reduzir os custos operacionais ocasionados por falhas decorrentes da falta de controle ou existência de procedimentos qualificados no processo de soldagem utilizados.

As discontinuidades nos processos de soldagem afetam diretamente o atingimento de metas programadas de produção com tempo gastos na construção de postos para retrabalho ou no retrabalho comumente dito, além de paradas de produção, custos operacionais elevados efeitos danosos na eficiência e na eficácia do produto final oferecido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos de soldagem pelo processo MIG/MAG

O conceito básico de soldagem MIG/MAG (*GMAW*) foi introduzido nos idos de 1920, e tornado comercialmente viável pós 1948. Inicialmente foi empregado com um gás de proteção inerte na soldagem do alumínio. Conseqüentemente, o termo *soldagem MIG* foi inicialmente aplicado e ainda é uma referência ao processo. Desenvolvimentos subseqüentes acrescentaram atividades com baixas densidades de corrente e correntes contínuas pulsadas, emprego em uma ampla gama de materiais, e o uso de gases de proteção reativos ou ativos (particularmente o dióxido de carbono, CO₂) e misturas de gases. Esse desenvolvimento posterior levou à aceitação formal do termo *GMAW – Gas Metal Arc Welding* para o processo, visto que tanto gases inertes quanto reativos são empregados. No entanto, quando se empregam gases reativos, é muito comum usar o termo *soldagem MAG (MAG – Metal Active Gas)*.

O processo de soldagem funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame no pólo positivo. Essa configuração é conhecida como polaridade **reversa**. A polaridade **direta** é raramente utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça. São comumente empregadas correntes de soldagem de 50 A até mais que 600 A e tensões de soldagem de 15 V até 32 V. Um arco elétrico auto corrigido e estável é obtido com o uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante. Melhorias contínuas tornaram o processo MIG/MAG aplicável à soldagem de todos os metais comercialmente importantes como os aços, o alumínio, aços inoxidáveis, cobre e vários outros.

Materiais com espessura acima de 0,76 mm podem ser soldados praticamente em todas as posições. É simples escolher equipamento, arame, gás de proteção e condições de soldagem capazes de produzir soldas de alta qualidade com baixo custo.

A indústria hoje com volumes de produção cada vez mais elevados se utiliza de equipamentos modernos que facilitam o processo produtivo mantendo a

excelência em qualidade e repetibilidade, assim se torna um pouco difícil voltar no tempo e imaginar como foi o início deste processo.

Em 1809, Sir Humphrey Davy prometia transformar o dia em noite com a "magia" de seu arco elétrico, sem imaginar que nesse momento estaria lançando a base para um dos processos de produção que viriam a alterar radicalmente os conceitos de união de materiais e construção de grandes conjuntos mecânicos...

1877 - Thomson sistematiza e estuda a soldagem por resistência elétrica com auxílio de pressão mecânica. É considerado o "pai" da soldagem por resistência. Obteve sua primeira patente para este processo em 1886 e a esta se seguiram outras 150. Seus estudos concentraram-se especificamente na soldagem de fios metálicos.

1880 - Moissan estuda o arco elétrico para fornos. Em 1892, fabrica o carbureto de cálcio no forno elétrico.

1885 - Bernardos utiliza o eletrodo de carvão para fusão localizada do aço. Como curiosidade é interessante lembrar que a tensão do arco variava de 100 a 300 V, a corrente de 600 a 1000 A. O modo de operação consistia em iniciar a passagem de corrente em curto-circuito e em seguida o operador estabelecia um arco de 5 a 10 cm de diâmetro. Os diâmetros dos eletrodos utilizados variavam entre 5 a 35 mm, e os porta eletrodos tinham aproximadamente 50 cm de comprimento. Bernardos realiza também a primeira soldagem a ponto por resistência utilizando-se novamente de eletrodos de carvão.

1887 - Fletcher realiza os primeiros ensaios de perfuração de aço sob jato de oxigênio.

1891 - Slavianoff realiza a primeira soldagem de chapas de aço com eletrodo metálico nu.

1895 - Le Chatelier estuda a chama oxi-acetilenica, e prevê suas aplicações industriais.

1898 - Linde produz o oxigênio industrialmente.

1901 - Fouche e Picard apresentam o primeiro maçarico oxiacetilênico industrial.

1902 - Musener (empresa) patenteia a chama de aquecimento e jato de oxigênio combinados.

1902 - Claude aperfeiçoa a unidade de produção de oxigênio.

1904 - Picard apresenta o maçarico de oxicorte.

1907 - Oscar Kjellberg revolucionou a soldagem a arco pela introdução dos eletrodos revestidos. Este melhoramento deu um enorme impulso a este processo já que assaram a ser obtidas soldagens com características mecânicas muito boas e freqüentemente superiores àquelas oriundas de soldagens por chama.

1930 - Aparecem diversos desenvolvimentos do processo de soldagem por eletrodos revestidos. O mais representativo foi sem dúvida o arco submerso, desenvolvido simultaneamente na União Soviética e nos Estados Unidos.

1933 - Hobart e Denver desenvolvem o processo TIG.

1936 aproximadamente - Baseado no mesmo sistema de proteção gasosa utilizado no processo TIG, aparece o processo MIG que no início era limitado aos materiais não ferrosos.

1939 aproximadamente - Como variação do processo MIG para ser utilizado para a soldagem de materiais ferrosos, aparece o processo MAG.

Após estes, e principalmente após a segunda guerra, diversos processos foram sendo descobertos como por exemplo: eletroescória, ultra-som, eletrogás, fricção, feixe de elétrons, plasma, laser, etc. pode-se quase afirmar que nos dias de hoje não existe material ou liga que não possa ser soldada ou brasada por pelo menos um, dos processos de soldagem existentes atualmente.

2.2 Características do processo MIG /MAG

Este trabalho, foi direcionado para soldagem pelo processo MIG/MAG Os dois processos diferem entre si basicamente pelo gás que utilizam, um vez que os

componentes utilizados são basicamente os mesmos. A simples mudança do gás por sua vez, será responsável por uma série de alterações no comportamento das soldagens.

Estes gases, segundo sua natureza e composição, tem uma influência preponderante nas características do arco, no tipo de transferência de metal do eletrodo à peça, na velocidade de soldagem, nas perdas por projeções, na penetração e na forma externa da solda.. Os gases nobres (processo MIG) são preferidos por razões metalúrgicas, enquanto o CO₂ puro, é preferido por razões econômicas.

Como seria lógico de concluir, muitas das vezes impossibilitados tecnicamente por um lado e economicamente por outro, acabamos por utilizar mistura dos dois tipos de gás, como por exemplo Argônio (inerte) com Oxigênio (ativo), Argônio com CO₂ e outros tipos.

Existe uma certa indefinição de quais seriam os limites percentuais dos gases, a partir dos quais um mistura deixaria de ser inerte e passaria a ser ativa e vice-versa, porém é uma discussão meramente teórica. Assumimos na prática o comportamento em soldagem e o modo como ocorre a transferência metálica como determinantes da percentagem correta onde ocorre a transição. Assim, misturas cujo maior componente seja um gás ativo (exemplo: Argônio 98 % - Oxigênio 2 % utilizado para a soldagem de aços inoxidáveis), conservam as características gerais de gás inerte e são consideradas como gás inerte. Misturas cujo maior componente seja um gás ativo (CO₂ 75 % - Argônio 25 % usado para a soldagem de aços ao Carbono em posição diferente da posição plana), conservam as características gerais de gás ativo e são consideradas como gás ativo.

O processo MAG é utilizado somente na soldagem de materiais ferrosos, enquanto o processo MIG pode ser usado tanto na soldagem de materiais ferrosos quanto não ferrosos como Alumínio, Cobre, Magnésio, Níquel e suas ligas.

Uma das características básicas deste processo, em relação aos outros processos de soldagem manuais, é sua alta produtividade, que é motivada, além da continuidade do arame, pelas altas densidades de corrente que o processo MIG, FIGURA 4, utilizando se de arame de solda de 1 mm a base de Cobre e Silício (CuSi3) a proteção gasosa utilizada foi constituída de um gás inerte, ou seja um gás

normalmente monoatômico como Argônio ou Hélio, e que não tem nenhuma atividade física com a poça de fusão.



FIGURA 4: Solda MIG.

A soldagem MAG, FIGURA 5, se caracteriza quando a proteção gasosa é feita com um gás dito ativo, ou seja, um gás que interage com a poça de fusão, normalmente CO₂ - dióxido de Carbono.



FIGURA 5: Solda MAG.

2.3 Vantagens do Processo.

O processo de soldagem MIG/MAG é bastante versátil em termos de ligas soldáveis e espessuras de material e posições de soldagem. A soldagem MIG encontra uma gama de aplicações na soldagem de não ferrosos e aços inoxidáveis e a soldagem MAG é extensivamente usada para diversos tipos de aço. Graig (1987)

complementa, dizendo que materiais de alta liga e materiais sensíveis ao calor, os quais eram considerados difíceis ou até mesmo impossíveis de serem soldados, têm sido unidos com êxito, ao se utilizar este processo, apesar de sua maior complexidade.

O processo de soldagem MIG/MAG proporciona muitas vantagens na soldagem manual, semi-automática e automática dos metais para aplicações de alta e baixa produção. Suas vantagens combinadas quando comparado a outros processos de soldagem como eletrodo revestido, arco submerso e TIG são:

- A soldagem pode ser executada em todas as posições;
- Não há necessidade de remoção de escória;
- Alta taxa de deposição do metal de solda;
- Tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eletrodo revestido;
- Altas velocidades de soldagem; menos distorção das peças;
- Largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldagem de reparo mais eficientes;
- Não há perdas de pontas como no eletrodo revestido.

2.4 Consumíveis

Os principais consumíveis utilizados na soldagem MIG MAG, são o arame-eletrodo e os gases de proteção.

2.4.1 Arames de solda

Um dos mais importantes fatores a considerar na soldagem MIG é a seleção correta do arame de solda. Esse arame, em combinação com o gás de proteção, produzirá o depósito químico que determina as propriedades físicas e mecânicas da solda. Basicamente existem cinco fatores principais que influenciam a escolha do arame para a soldagem MIG/MAG:

- A composição química do metal de base;

- As propriedades mecânicas do metal de base;
- O gás de proteção empregado;
- O tipo de serviço ou os requisitos da especificação aplicável;
- O tipo de projeto de junta.

Entretanto, a grande experiência na soldagem industrial levou a *American Welding Society* — *AWS* — a simplificar a seleção. Foram desenvolvidos e fabricados arames que produzem os melhores resultados com materiais de base específicos. Embora não exista uma especificação aplicável à indústria em geral, a maioria dos arames está em conformidade com os padrões da *AWS*.

2.4.2 Materiais ferrosos

Antes de abordar os arames específicos para a soldagem MIG/MAG de materiais ferrosos, existem similaridades básicas que todo o arame ferroso compartilha nos elementos de liga adicionados ao ferro. Na soldagem MIG/MAG de aços carbono a função primária das adições de elementos de liga é controlar a desoxidação da poça de fusão e ajudar a determinar as propriedades mecânicas da solda. Desoxidação é a combinação de um elemento com o oxigênio da poça de fusão, resultando numa escória ou num filme vítreo sobre a superfície do cordão de solda. A remoção do oxigênio da poça de fusão elimina a principal causa de porosidade no metal de solda.

Silício (Si) – é o elemento mais comum empregado como desoxidante em arames usados na soldagem MIG/MAG. Geralmente os arames contêm de 0,40% a 1,00% de silício, dependendo da aplicação. Nessa faixa percentual o silício apresenta uma capacidade de desoxidação muito boa. Quantidades maiores de silício aumentarão a resistência mecânica da solda com pequena redução na ductilidade e na tenacidade. No entanto, acima de 1,0-1,2% de silício o metal de solda pode tornar-se sensível à fissuração.

Manganês (Mn) – é também comumente utilizado como desoxidante e para aumentar a resistência mecânica. O manganês está presente com 1,00% a 2,00% dos arames de aço doce. Teores maiores de manganês aumentam a

resistência do metal de solda com uma influência maior que o silício. O manganês também reduz a sensibilidade à fissuração a quente do metal de solda.

Alumínio (Al), titânio (Ti) e zircônio (Zr) – esses elementos são desoxidantes poderosos. São feitas algumas vezes adições muito pequenas desses elementos, usualmente não mais que 0,20% como teor total dos três elementos. Nessa faixa é obtido algum aumento na resistência mecânica.

Carbono (C) – o carbono é o elemento que apresenta a maior influência nas propriedades mecânicas e micro-estruturais. Na fabricação de arames de aço para a soldagem MIG/MAG o teor de carbono dos arames é geralmente mantido de 0,05% a 0,12%. Essa faixa é suficiente para proporcionar a resistência necessária ao metal de solda sem afetar consideravelmente a ductilidade, a tenacidade e a porosidade. Maiores teores de carbono no arame e no metal de base têm o efeito de gerar porosidade, particularmente durante a soldagem com o gás de proteção CO₂. Quando o teor de carbono do arame e/ou da peça ultrapassar 0,12% o metal de solda perderá carbono na forma de CO. Esse fenômeno pode causar porosidade, porém desoxidantes adicionais auxiliam a superá-lo.

Outros – níquel, cromo e molibdênio são freqüentemente adicionados para melhorar as propriedades mecânicas e/ou a resistência à corrosão. Em pequenas quantidades eles podem ser adicionados aos arames de aço carbono para melhorar a resistência e a tenacidade do depósito. São adicionados em maiores quantidades nos arames de aço inoxidável.

A Tabela 1 mostra os requisitos químicos e as designações para todos os arames de aço doce cobertos pela especificação AWS A5.18.

Tabela 1 Requisitos de composição química para arames de aços doces e de baixa liga

AWS	ESAB	C	Mn	Si	S	P	Mo	Outros
ERT88-2	65	0,07	0,99-1,40	0,40-0,70	≤0,038	≤0,025	-	0,06-0,15 Ti 0,02-0,12 Zr 0,06-0,16 Al
ERT88-3	299 ou 82	0,09-0,15	0,99-1,40	0,45-0,75	≤0,038	≤0,025	-	
ERT88-4	85	0,07-0,15	1,00-1,50	0,65-0,85	≤0,038	≤0,025	-	
ERT88-5	-	0,07-0,15	0,99-1,40	0,30-0,60	≤0,038	≤0,025	-	0,06-0,90 Al
ERT88-6	OK 12.51	0,07-0,15	1,40-1,80	0,80-1,15	≤0,038	≤0,025	-	
ERT88-7	87HP	0,07-0,15	1,50-2,00	0,50-0,80	≤0,038	≤0,025	-	
ERT88-02	83 ou H184	0,07-0,12	1,60-2,10	0,50-0,80	≤0,038	≤0,025	0,40-0,60	
ERT88-G	não especificado - requisitos a serem acordados entre o cliente e o fornecedor							

2.4.3 Gases de Proteção

Gases inertes (Ar, He ou Ar + He) são usados na soldagem de metais mais reativos, como alumínio, magnésio e titânio. **Gases ativos** (uso de CO₂ puro ou com adições de oxigênio ou argônio) são usados na soldagem de aços carbono e baixa liga.

As vantagens do uso de gases ativos são:

- Baixo custo;
- Maior estabilidade do arco
- Maior velocidade de soldagem
- Maior penetração
- As características do arco;
- O tipo de transferência do metal;
- A penetração;
- A largura e o formato do cordão de solda;
- A velocidade máxima da soldagem
- Tendência ao aparecimento de mordeduras;

Hélio e CO₂, devido a seus maiores potenciais de ionização, propiciam maiores tensões no arco (maiores quedas de tensão), o que gera mais calor no arco. Assim, estes gases são utilizados na soldagem de peças com maiores espessuras e materiais com maiores condutibilidades térmicas. Estes gases produzem soldas com perfis mais largos.

Argônio. Devido ao baixo potencial de ionização, conforme já mostrado, propicia um arco estável com excelente condução elétrica e alta densidade de corrente, o que concentra a energia do arco em uma pequena área, resultando em um perfil de penetração profundo, denominado perfil dediforme— em forma de dedo.

Os gases de proteção usados no processo são a diferença fundamental entre os processos MIG e MAG. MIG, usa um gás ou mistura de gases inertes; MAG, usa um gás ativo ou mistura de gás ativo com inerte. Os primeiros trabalhos com estes processos foram feitos com gás ativo, em peças de aço, no início dos anos 30.

inerte. A Tabela 2 mostra os principais gases e misturas utilizados nos processos de soldagem MIG/MAG.

Tabela 2: Gases e misturas utilizados nos processos de soldagem MIG/MAG

Gás ou Mistura	Comportamento Químico	Aplicações
Argônio (Ar)	Inerte	quase todos metais (- aço)
Hélio (He)	Inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas
Ar + 20 a 50 % He	Inerte	ídem He (melhor que 100% He)
Nitrogênio (N ₂)	Inerte	Cobre e suas ligas
Ar + 20 a 30 % N ₂	Inerte	ídem N ₂ (melhor que 100% N ₂)
Ar + 1 a 2 % O ₂	Ligeiramente Oxidante	aços inóx e alg. ligas Cu
Ar + 3 a 5 % O ₂	Oxidante	aços Carb. e alguns b. liga
CO ₂	Oxidante	aços Carb. e alguns b. liga
Ar + 20 a 50 % CO ₂	Oxidante	div. aços - transf. c. circ
Ar + CO ₂ + O ₂	Oxidante	diversos aços

2.5 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG

As variáveis do processo determinam as características finais do cordão de solda, como dimensões, acabamento e propriedades mecânicas. Definem também a maior ou menor probabilidade de ocorrência de alguns tipos de defeitos, como trincas, poros, **Mordeduras** e outros. Cada uma dessas variáveis pode ser controlada separadamente, porém todas estão interligadas e são independentes, visto que o efeito de uma está diretamente relacionado com a atuação da outra.

Diversas variáveis influenciam nas características do cordão de solda, dentre elas destacam-se a corrente de soldagem, a tensão, a velocidade de soldagem, o comprimento e diâmetro do eletrodo, a inclinação da tocha de soldagem, a proteção gasosa e a velocidade de alimentação do arame. A corrente

de soldagem tem influência direta na taxa de deposição, no modo de transferência metálica e nas características geométricas do cordão. Sendo assim, sua escolha correta vai depender da espessura das peças a serem unidas, do diâmetro do eletrodo e das características desejadas dos cordões de solda. Além disso, uma corrente de baixa intensidade pode acarretar pouca estabilidade ao arco elétrico.

Mantendo-se constantes as variáveis do processo e aumentando-se o valor da corrente, percebe-se a ocorrência de aumento na penetração e na profundidade da solda, na taxa de deposição do metal de adição e no diâmetro da gota de solda até o ponto de transição. Phillips (1968) relata que a penetração é influenciada pelas transferências, sendo particularmente pequena com uma corrente situada abaixo do nível de transição entre as transferências globular/*spray*. À medida que a corrente aumenta, o volume da gota também aumenta, caracterizando a transferência globular, até o instante em que a corrente atinge o nível de transição globular/*spray*. Nesse instante, pequenas gotículas passam a ser projetadas para apoça de fusão sob a forma de névoa ou pulverização, caracterizando assim a transferência por *spray*.

A tensão é considerada como um dos parâmetros mais influentes neste processo, por afetar tanto o modo de transferência metálica quanto a geometria do cordão de solda. A tensão de soldagem e o comprimento do arco estão diretamente relacionados sob o mesmo aspecto, ou seja, baixas tensões tenderão a produzir baixos comprimentos de arco e vice-versa. O comprimento do arco é uma variável independente, porém a tensão no arco não, pois além de depender desse parâmetro, sofrerá também a influência de outras variáveis, como a composição e o diâmetro do eletrodo, o tipo de gás de proteção utilizado e o modo de transferência.

Wainer et all (1992) sustentam que a potência do arco, dada pelo produto entre sua tensão e corrente, é responsável pela largura do cordão de solda. Assim, para uma corrente constante, o aumento da tensão do arco provoca maior largura e menor altura do cordão, melhor molhagem, ou distribuição do metal depositado, e redução da penetração. Um arco com comprimento muito pequeno pode causar curtos-circuitos acidentais quando a transferência é globular ou *spray*, resultando em instabilidade do arco e conseqüente porosidade no cordão, além de cordões muito convexos. Já o comprimento muito grande tende a oscilar e a causar um cordão de penetração e largura irregulares.

Ainda, conforme o valor da tensão utilizada, determinados tipos de defeitos poderão ser introduzidos. Desta forma, valores elevados poderão gerar porosidades, excesso de respingos e mordeduras. Valores baixos favorecem o aparecimento de sobreposições e instabilidades no arco. A velocidade de soldagem, definida como a taxa de deslocamento do arco ao longo da junta, influencia a energia de soldagem, ou seja, a quantidade de calor cedida à peça; quanto maior a velocidade, menor a quantidade de calor cedida por unidade de área. Com o controle da velocidade de soldagem, pode-se controlar a penetração e o tamanho do cordão, mas é uma variável independente da corrente de soldagem. A velocidade de soldagem deve ser selecionada em conjunto com a corrente para proporcionar a penetração desejada. Uma velocidade de soldagem muito alta diminui a ação de molhamento ou caldeamento, aumentando a tendência a mordeduras, ao apagamento do arco, porosidades e trincas. Por outro lado, velocidades muito baixas, além de elevarem o custo da operação, podem causar alterações metalúrgicas na estrutura do material devido à concentração térmica.

Por outro lado, velocidades excessivas provocam menor penetração e menor largura do cordão, possíveis mordeduras e falta de fusão.

Um fator importante na determinação da velocidade de soldagem ideal refere-se aos gases de proteção. Para ilustrar tal influência, a Figura 6 mostra velocidades ótimas para alguns gases utilizados no processo de acordo com experimentos realizados por Stenbacka (1989), em testes realizados com chapas de aço temperado de 6 mm de espessura com arames de 1mm de diâmetro e velocidade de alimentação de 12 m/min; soldagem de filete na posição horizontal com *stick-out* de 17 mm.

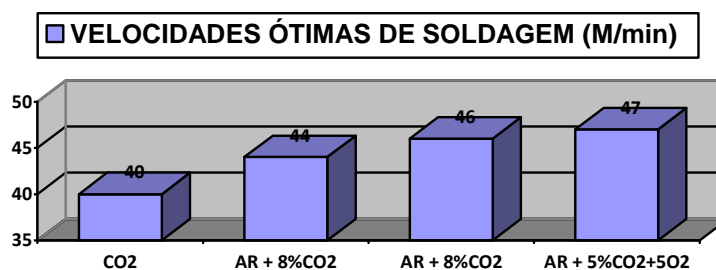


Figura 6: Velocidades ótimas de soldagem para diferentes gases utilizados no processo MIG/MAG. Fonte: Stenbacka (1989).

Outra variável importante do processo MIG/MAG refere-se ao “*stick-out*” (distância existente entre o início da parte externa do eletrodo ou fim do bico de contato e o final do eletrodo); é pois o comprimento livre do eletrodo. A distância entre a ponta do eletrodo e a peça é o comprimento do arco.

O “*stick-out*” está relacionado com a velocidade de fusão do eletrodo. Se o “*stick-out*” for aumentado, o calor é aumentado por efeito Joule, e a velocidade de fusão do eletrodo também se torna maior. Se o “*stick-out*” for muito pequeno, o calor gerado não será suficiente para fundir o eletrodo adequadamente; por outro lado, se for muito elevado, o arco tornar-se-á instável, a proteção gasosa deixará de existir e a consequência será o aparecimento de porosidades. Portanto, é preciso controlar rigorosamente o “*stick-out*”.

Ao se aumentar o “*stick-out*” e a distância da peça ao bico de contato, sem alteração dos demais parâmetros, haverá um aumento da queda de tensão; a corrente de solda, assim como a potência do arco, reduzem-se. Quanto maior for o comprimento livre do arame, maior será a resistência ao aquecimento. Desse modo, o arame pode vir a ser fundido por um arco de potência insuficiente. Nessas condições, a zona de solda recebe pouco calor, podendo vir a ocorrer pontos frios na soldagem; em geral, longos arames livres reduzem a frequência das gotas e aumentam a perda de deposição por ocorrência de respingos.

A Figura 7 mostra a influência no cordão de solda com a variação do “*stick-out*”, em três diferentes situações nas posições.

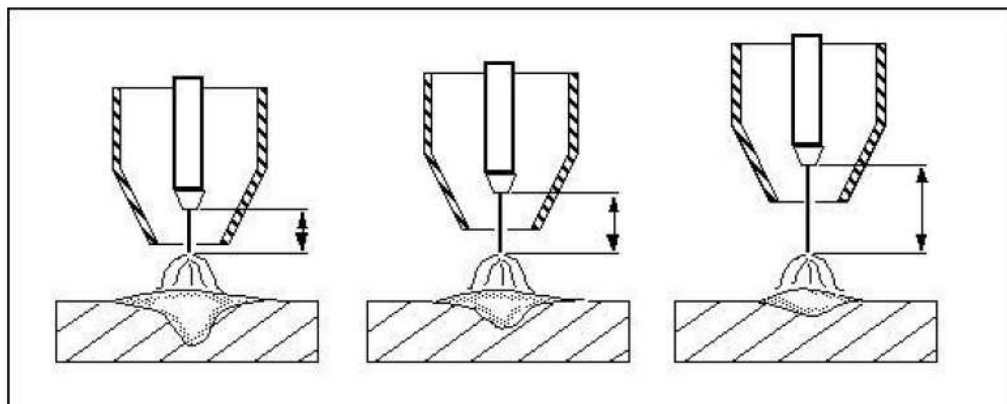


Figura 7 : Influência do *stick-out* na geometria do cordão de solda.

Fonte: Wainer (1992)

A influência do diâmetro do eletrodo tem relação direta com a configuração do cordão de solda. Aumentando-se o diâmetro do arame, maior será a corrente necessária para sua fusão. Contudo, cordões mais largos e profundos serão produzidos nesta situação, com maior quantidade de metal de adição sendo depositada. Existe, também, influência do diâmetro na penetração do cordão de solda. Como mostra a Figura 8 para as condições de corrente=300(A), tensão de soldagem=25(V), velocidade de soldagem=38 (cm/min) e espessura do metal de base=8 (mm), a penetração reduz significativamente com o diâmetro do eletrodo (Phillips,1968). Ainda, para um mesmo nível de corrente, o arco torna-se mais penetrante à medida que o diâmetro do eletrodo decresce. Com a utilização das posições vertical e sobre-cabeça, menores diâmetros de arame, inferiores a 1,2 mm, são utilizados com baixas correntes de soldagem.

Existe uma faixa de corrente apropriada para cada diâmetro de eletrodo, de maneira a permitir boas condições de operação. Cada diâmetro é escolhido em função da espessura do metal de base, da posição de soldagem, do tamanho da poça de fusão e da quantidade de energia à ser cedida para a peça.

Wainer et all (1992) relatam que, na utilização de dois eletrodos de diâmetros diferentes, submetidos às mesmas condições de soldagem, o de maior diâmetro dará maior taxa de deposição e penetração. Eletrodos de grandes diâmetros originam cordões mais longos quando comparados com os de menor diâmetro. A espessura do metal de base também influencia na escolha do diâmetro do eletrodo. Dessa forma, quanto mais espesso for o material de base, maior deverá ser o diâmetro do eletrodo.



Figura 8: Influencia do diâmetro do eletrodo na penetração do cordão de solda.

Fonte: Phillips (1968)

2.6 Formação de Cordão na Soldagem MIG/MAG

Considerando informações referentes à literatura, muitos trabalhos destacam a influência dos fatores na característica final de uma solda, principalmente aqueles relacionados à geometria do cordão final. Vários destes trabalhos serviram de diretriz para a fixação dos parâmetros de análise, bem como dos níveis de atuação dos mesmos nas respostas a serem trabalhadas. Alguns destes trabalhos serão mencionados a seguir.

Considerando a geometria final do cordão de solda, Gunaraj e Murugan (2000), verificaram que a tensão de soldagem, taxa de alimentação do arame (que está diretamente ligada à corrente de soldagem), velocidade de soldagem e distância da tocha à junta são parâmetros bastante significativos em sua formação.

De acordo com Wainer *et. al* (1992), os ângulos de soldagem também influenciam diretamente no formato do cordão, além de fatores como a mistura de gases, tipo de arame (diâmetro e especificação), vazão de gás, tensão, corrente, velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame, “stick-out”, parâmetros de pulso, tipo de aço, quantidade de calor da junta. Estes parâmetros estão descritos no diagrama causa-efeito mostrado na Figura 9, Para identificação dos principais parâmetros de processo que influenciam-na, utilizou-se o auxílio de um diagrama de causa e efeito 6M, proposto inicialmente por Ishikawa Antony *et al*, (1998).

Este diagrama permite uma melhor visão do processo. Os resultados para o processo em análise podem ser verificados.



Figura 9: Diagrama 6M para identificação de defeitos no cordão de Solda

Fonte: Ishikawa (Antony *et al*, 1998).

Apesar de existir uma série de variáveis de influencia, optou-se nesse trabalho mante-las constantes, destacando-se:

- Mistura de gases;
- Geometria da junta;
- Tipo de arame de soldagem (AWS ER70S-6)
- Tipo de solda (automática)
- Polaridade;
- Tipo de corrente;

Assim, dentre os fatores relacionados ao Processo de soldagem alguns sofreram variações para a execução desse trabalho, destacando os abaixo relacionados:

- Tensão ou voltagem;
- Intensidade de Corrente;
- Velocidade de soldagem;
- Angulo e sentido de soldagem;
- Comprimento Livre do eletrodo (*stick-out*);

Em relação à vazão de gás, mesmo podendo ser variada sem restrições, optou-se por trabalhar em uma faixa constante já previamente definida no processo atual utilizado na linha de produção e pontos de treinamentos da Empresa.

O “*stick-out*”, que é a distância do bico de contato até o início do arco, é um valor teórico e está ligado diretamente à voltagem, pois quanto maior o arco, menor o “*stick-out*”.

Quanto aos ângulos da tocha na Figura 10, o ângulo de soldagem negativo (arco frio) tem maior influência no formato do cordão, do que o ângulo de arraste positivo (arco quente).

Ângulo	Características	Soldagem
Ângulo Negativo - Arco Frio	<ul style="list-style-type: none"> • Menor penetração • Mais respingos • Cordão de solda mais plano • Cordão de solda mais largo • Melhor visibilidade para o soldador 	
Ângulo Positivo - Arco Quente	<ul style="list-style-type: none"> • Maior penetração • Menos respingos • Cordão de solda mais estreito • Cordão de solda mais convexo • Arco mais estável 	
Ângulo Neutro	Neste caso, as características de soldagem e do cordão de solda são intermediárias aos dois casos anteriores.	

Figura 10: Influência do posicionamento da tocha.
Fonte: Belgo Mineira (1996)

Desta forma, no presente trabalho foi analisado a influência dos seguintes parâmetros de processo na geometria do cordão de solda:

Voltagem (V), Intensidade de corrente ou Amperagem (A), Velocidade de Soldagem (V_s) e Ângulo de solda.

São variáveis importantes do processo:

- Diâmetro e composição do arame;
- Tipo do gás de proteção;
- Velocidade de alimentação do arame;
- Vazão do gás de proteção;
- Comprimento do eletrodo e distância da tocha à peça (figura 28);
- Posicionamento da tocha em relação à peça;
- Corrente de soldagem;
- Tensão de soldagem;
- Velocidade de soldagem;

A seleção incorreta destes parâmetros resulta em soldas insatisfatórias devido a problemas metalúrgicos e/ou operacionais como, por exemplo, instabilidade do arco, respingos, falta de fusão ou de penetração, **Mordeduras**, etc. Em particular, neste processo, a corrente de soldagem controla fortemente a velocidade de fusão do arame, além disso, a penetração, o reforço e a largura do cordão tendem a aumentar com a corrente quando as demais variáveis são mantidas constantes.

2.7 EQUIPAMENTOS PROCESSO MIG MAG

2.7.1 Principais características.

Os equipamentos utilizados nos ensaios desse trabalho são os mesmos utilizados na linha de produção e nos treinamentos e certificações internas de soldadores da linha do setor de chapelonaria e armação. Para os cordões de solda das peças de ensaio, utilizou-se uma máquina de solda CMT Fronius, cujo painel de controle é ilustrado na Figura 11, com as características abaixo:



Figura 11: Painel Frontal da Máquina TPS 4000

Fonte : Fronius

- TPS 4000 Fronius;
- CMT –Modo convencional – Arco Pulsado;
- Gás de proteção – Mistura 82% Argônio e 18% Co₂;
- Tocha Refrigerada;
- Roldanas de Perfil trapezoidal;
- Arame de solda – (AWS ER70S-6)
- Arco de solda – Sinérgico.

2.7.2 Componentes do sistema de solda CMT

A Figura 12 mostra um sistema básico de um processo MIG/MAG



Figura 12: Componentes do sistema
Fonte: Fronius 2004

2.7.3 Alimentador de arame

O alimentador de arame demonstrado na Figura 13 normalmente utilizado, é acionado por um motor de corrente contínua e fornece arame a uma velocidade constante ajustável numa ampla faixa. Não existe qualquer ligação entre o alimentador e a fonte de energia, entretanto ajustando-se a velocidade de alimentação de arame, ajusta-se a corrente de soldagem fornecida pela máquina, devido as características da fonte e do processo. O arame é passado entre um conjunto de roletes chamados de roletes de alimentação que podem estar próximos ou longe da tocha de soldagem e, dependendo da distância entre o carretel de arame e a tocha de soldagem, um ou outro tipo de alimentador apresenta melhores resultados

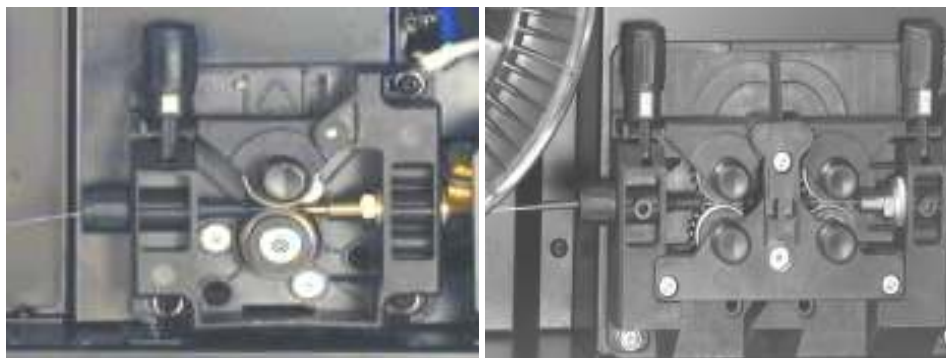


Figura 13: Alimentador de arame
Fonte: Fronius 2004

2.7.4 Unidade de Arraste

A unidade de arraste Figura 14 utilizada nos experimentos



Figura 14: Unidade de arraste

Fonte: Fronius 2004

Estrutura original do motor;

Baixo Peso;

Melhor dissipação do calor;

Unidade eletrônica totalmente protegida;

Botões exteriores para controle de alimentação de arame e gás;

Fácil manutenção e troca

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

Visando provocar artificialmente (pelo uso de parâmetros não adequados) mordeduras, os testes experimentais foram executados conforme instrução da coordenação e seguem os conceitos (hipóteses teóricas) abaixo:

- Quanto maior a tensão de soldagem (maior comprimento do arco), maior deverá ser o aparecimento de mordeduras;
- Quanto maior a velocidade de soldagem, maior deverá ser o aparecimento de mordeduras;
- Quanto maior a corrente de soldagem, maior deverá ser o aparecimento de mordeduras;
- Um ângulo de ataque do tipo empurrando, menor deverá ser o aparecimento de mordeduras;

Foram executados cordões de solda utilizando o equipamento no modo MIG pulsado, em placas de teste na forma de junta sobrepostas feitas com placas de aço ABNT 1010, com dimensões de 150 x 50 x 2 mm, com sobreposição de 25 mm (Figura 15). Os cordões de solda foram depositados na posição filete horizontal (ângulo de trabalho de 45°), com um arame AWS ER70S-6, de 1,0 mm de diâmetro, com uma distância bico de contato-peça de 15 mm e proteção com a mistura Ar+18%CO₂.



Figura 15: Ilustração da placa de teste

A Figura 16 ilustra a regulagem executada no painel do equipamento para a realização dos testes.



Figura 16: ilustração do painel de regulagem do equipamento de soldagem

Os testes metalográficos foram realizados para verificar a existência de possíveis descontinuidades de solda. As amostras foram preparadas de forma convencional, constituindo em embutimento em baquelite, lixamento nas granulometrias de 180, 320, 600, 800, 1200 e posterior polimento utilizando-se pasta alumina de $1\mu\text{m}$, seguindo-se ataque químico de ácido nítrico a 10% por 5s, lavagem em água e secagem com secador térmico.

Os lixamentos e polimentos foram realizados em um equipamento automático da marca BUEHLER modelo VECTOR POWER HEAD conforme FIGURA 17.



FIGURA 17 Politriz automática

Para a análise de descontinuidades, as amostras foram verificadas em um microscópio da marca OLYMPUS modelo SZ CVT, com o software ANALYSIS V 1,5.

Para cada corpo de prova foram cortados os pontos centrais de cada intervalo pois são os pontos mais críticos, desta foram retirados para análise 12 amostras conforme Figura 18 .

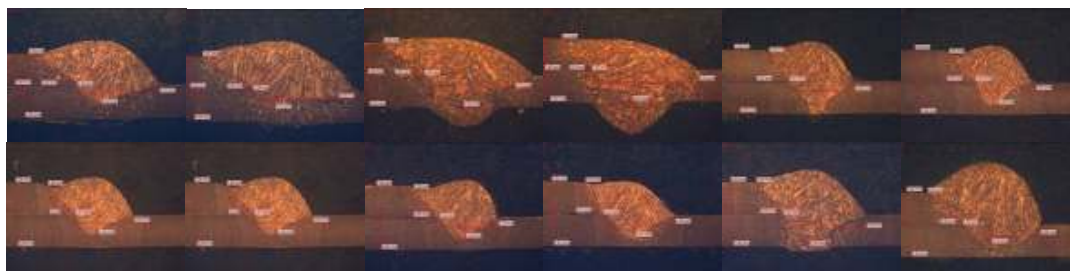


Figura 18: Amostras metalográficas (macrografias)

Para os testes, foram usados diferentes combinações de parâmetros de soldagem, (corrente, tensão, velocidade de soldagem e ângulo de ataque), como descritos na

Tabela 3 : Parametrização do processo MAG para os diversos teste (Distancia bico de contato e peça, DBCP, de 15 mm e ângulo de trabalho de 45°);

Fonte: Do autor 2013

RESUMO									
PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
PEÇA	AL1 ALTURA DO ARCO (**)	VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO DE ARAME (m/min) (*)	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)		ANGULO DE ATAQUE (°) °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V) (**)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A) (*)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
1	4	7,2	8		90	23	150	21,6	155
2	4	7,2	6		90	23	150	21,6	155
3	4	7,5	4		90	23,1	154	22,6	170
4	4	7,2	6		90	23	150	21,8	153
5	4	7,2	12		90	23	150	20,1	160
6	6	7,5	15		90	23,1	154	21,4	166
7	6	7,7	15		90	23,2	158	21,2	164
8	7	7,7	15		90	23,2	158	21,1	160
9	5	7,7	15		90	23,2	158	21,4	160
10	3	7,7	15		90	23,2	158	21,6	157
11	6	7,7	9		75 Empurrando	23,2	158	24,1	154
12	6	7,7	9		75 Puxando	23,2	158	22,8	165

(*) – a regulagem da velocidade de alimentação do arame e a da corrente e tensão programada são interligadas pelo equipamento, ou seja, ao se regular um, os outros são automaticamente alterados, mas provavelmente tentando manter o comprimento de arco constante;

(**) – a regulagem da altura do arco e a da corrente e tensão programadas são interligadas pelo equipamento, ou seja, ao se regular um, os outros são automaticamente alterados, mas provavelmente tentando fazer o comprimento de arco variar;

A Figura 19 mostra o resultado do primeiro cordão de solda, a tabela de parâmetros utilizados bem como seu ensaio metalográfico. Como se vê, houve boa penetração nos dois lados do material de base e um molhamento uniforme nas

superfícies do mesmo. Não há evidência de mordeduras. Assim, esta condição passou a ser a padrão para fins de comparação.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E C A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
1	4,0	7,2	8	15	90	23	150	21,6	155



Figura 19: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 1

Para a peça 2, foi reduzido a velocidade de soldagem. Os resultados são mostrados nas Figuras 16 e 17. Como observado, e esperado (já que a velocidade foi reduzida), não houve mordedura. Reduzindo a velocidade de soldagem, o aspecto do cordão se manteve com poucas alterações na penetração, no molhamento e na espessura de solda, evidenciando que somente com a modificação dessa variável o cordão se manteve com as mesmas características do primeiro ensaio, ou seja, a velocidade de solda reduzida manteve as características do cordão em comparação com a solda realizada no primeiro ensaio (peça 1).

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E C A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
2	4	7,2	6	15	90	23	150	21,6	155

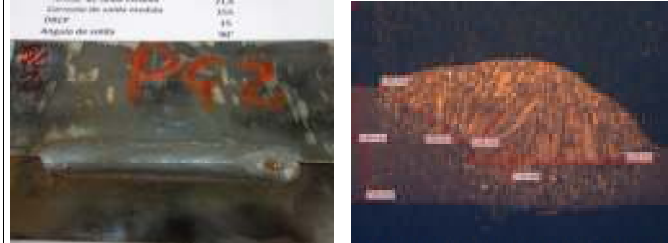


Figura 20: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 2

Para peça 3, a velocidade e soldagem foi reduzida mais ainda, mas a velocidade de alimentação do arame (corrente) foi aumentada. Um pequeno incremento na regulação de corrente (de 150 para 154), a corrente resultante subiu de 155 para 170 A. Este fato e a redução da velocidade de soldagem (maior aporte térmico) foi suficiente para perfurar a junta, como pode ser percebido pela Figura 21.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
3	4	7,5	4	15	90	23,1	154	22,6	170



Figura 21: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 3

Para a peça 4, foi retornada a velocidade de alimentação para o valor inicial, replicando as condições do teste 2. Os resultados ilustrados na Figura 22 mostram não ter havido repetibilidade, já que a penetração foi maior.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
4	4	7,2	6	15	90	23	150	21,8	153




Figura 22: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 4

Já para a peça 5, as condições do teste 1 foi mantido, mas a velocidade de soldagem foi aumentada. Como mostra a Figura 23 aparece na concordância do cordão com a chapa superior evidências de mordeduras. É importante destacar que mesmo com o aumento significativo da velocidade (menor energia), houve aumento da penetração e uma redução do molhamento do cordão de solda.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
5	4	7,2	12	15	90	23	150	20,1	160




Figura 23: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 5

No cordão de solda número 6 aumentou-se, em relação ao teste 1, a altura do arco (que aumentou a tensão e a corrente programadas) e a velocidade de alimentação (corrente). Esse conjunto de modificações caracterizou a formação de mordedura na chapa de cima, o que seria esperado pelas hipóteses acima, conforme Figura 24, bem como a redução do molhamento, mantendo estável a espessura de solda e penetração.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
6	6	7,5	15	15	90	23,1	154	21,4	166



Figura 24: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 6.

Para os testes 7 a 10, foi aumentada ou diminuída as regulagens da altura do arco, mantendo-se constantes os demais parâmetros (a velocidade de alimentação, conseqüentemente a corrente monitorada, foi maior do que para o teste 1). Entretanto, como visto pelas figura Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28, não houve grandes diferenças de resultados.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
7	6	7,7	15	15	90	23,2	158	21,2	164



Figura 25: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 7

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
8	7	7,7	15	15	90	23,2	158	21,1	160



Figura 26: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 8

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
9	5	7,7	15	15	90	23,2	158	21,4	160



Figura 27: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 9

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM °	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
10	3	7,7	15	15	90	23,2	158	21,6	157



Figura 28 Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 10

Pode-se perceber que para as 10 primeiras peças de testes também não houve variação significativa da tensão monitorada. Pode-se concluir que pequenas variações na regulagem do comprimento de arco (de 3 até 7) não refletem um grandes variações do comprimento real de arco (que deveria se refletir em aumento da tensão monitorada), como mostra a

Tabela 4.

Tabela 4: Tensão de Solda moitorada peças 1 a 10

TENSÃO DE SOLDA MONITORADA										
P E Ç A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TENSÃO DE SOLDA (V)	21,60	21,60	22,60	21,80	20,10	21,40	21,20	21,10	21,40	21,60

Para os testes 11 e 12 foi verificado o efeito do ângulo de ataque, e observou-se que essa inclinação da tocha é um outro parâmetro de influencia na geometria do cordão de solda no que diz respeito à largura, à altura e penetração do cordão.

Quando foi usado o ângulo puxando (teste 11), o cordão ficou mais convexo, a penetração foi mais profunda, sem formação de respingos e não houve efeito sobre a mordedura, Figura 29. Já a figura 31 evidendcia os dados alcançados na soldagem com a tocha inclinada.

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ANGULO DE SOLDAGEM PUXADO	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
11	6	7,7	15	15	75°	23,2	154	22,8	165




Figura 29: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 11

Quando usado o ângulo de soldagem Empurrando, com os mesmos parâmetros da peça 11, observou-se uma menor penetração um cordão de solda mais baixo paradoxalmente não houve formação de respingos e também não afetou o aparecimento de mordeduras conforme Figura 30

PARAMETROS REGULADOS								PARAMETROS MEDIDOS	
P E Ç A	AL1 ALTURA DO ARCO	VELOCIDADE AUMENTAÇÃO DE ARAME	VELOCIDADE SOLDAGEM (mm/s)	DBCP (mm)	ÂNGULO DE SOLDAGEM EMPURRANDO	TENSÃO DE SOLDA PROGRAMADA (V)	CORRENTE DE SOLDA PROGRAMADA (A)	TENSÃO DE SOLDA (V)	CORRENTE DE SOLDA (A)
12	6	7,7	15	15	75°	23,2	154	24,1	154



Figura 30: Cordão de solda, tabela de parâmetros e Macrografia peça 12

	sentido da soldagem ←		
	Empurrando	Vertical	Arrestando
Penetração	Rala	Média	Mais profunda
Possibilidade de unir em fendas mais abertas	Muito	Média	Ruim
Estabilidade do arco elétrico	Ruim	Média	Muito
Formação de respingos	Muito	Média	Menor
Largura do cordão	Mais larga	Média	Mais estreita

Figura 31: Influência do posicionamento da tocha
Fonte: Belgo Mineira 1996

4 CONCLUSÕES

Ficou evidente que o aumento da velocidade de soldagem favoreceu a formação de mordeduras. Entretanto, as condições experimentais não permitiram variar significativamente a corrente e o comprimento do arco a tal modo a se verificar a influência destes dois parâmetros na formação de mordedura. De forma similar, a variação do ângulo de ataque, por ter se dado em condições paramétricas de não formação de mordedura, também não possibilitou verificar o efeito destes parâmetros na formação dessa descontinuidade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESAB MIG Welding Handbook – ESAB Welding & Cutting Products
- FUNDAMENTOS de soldagem. Apostila São Paulo: SENAC, 2008.
- MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo Jose; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem – Fundamentos e Tecnologia. Editora UFMG, 2007.
- MODENESI, Paulo J. Descontinuidade e inspeção em juntas de solda. Apostila. Belo Horizonte: UFMG 2001
- ROCHA, Wendel Fernandes Introdução ao processo de soldagem. Apostila. Belo Horizonte: Editado pelo autor, 2009
- RODRIGUES. C.M e PEREIRA, A.S. Descontinuidades em soldas. Trabalho de Pesquisa Florianópolis: Editado pelos autores, 1999
- Soldag. Insp. São Paulo, Vol.17, Nº. 2, Abr/Jun 2012
- Soldag. Insp. São Paulo, Vol.17, Nº. 3, Jul/Set 2012
- WAINER, E. ET AL. Soldagem – processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 1992