

CENTRO PAULA SOUZA FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A SOLDAGEM GMAW
SEMIAUTOMÁTICA E ROBOTIZADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Ítalo Figueredo
Marcelo Pereira Conceição
Willian Lino de Souza

SÃO PAULO
2021

CENTRO PAULA SOUZA FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A SOLDAGEM GMAW
SEMIAUTOMÁTICA E ROBOTIZADA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Ítalo Figueredo
Marcelo Pereira Conceição
Willian Lino de Souza

Trabalho acadêmico realizado como requisito
parcial para a conclusão do curso de tecnologia
em Mecânica: Processos de Soldagem.
Orientador: Prof. Me. Edgar de Souza Dutra

SÃO PAULO
2021

RESUMO

A soldagem GMAW ou MIG/MAG é um dos processos mais utilizados e preferidos pela indústria Automobilística, por possui custos relativamente mais baixos em relação a outros métodos de fabricação, a principal característica do processo de soldagem é a união de materiais metálicos. Quando utilizado ou realizado de forma inadequada este processo possibilita o aparecimento de falhas e erros que podem comprometer a produtividade e a qualidade do produto. O Presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar os aspectos técnicos e econômicos do método de soldagem GMAW entre os modos semiautomático e o robotizado na fabricação de em produtos e serviços fornecidos para indústria automotiva. Podemos observar que a utilização de um sistema de robotizado de soldagem possui maior eficiência e estabilidade durante a execução das soldas, o que reduz o número de falhas e minimiza os erros existentes em um processo de soldagem semiautomático. Os resultados obtidos durante a análise comparativa demonstram uma redução nos números de falhas e a eliminação dos erros relacionados a habilidade do soldador.

Palavras-chave: Produtividade; Soldagem; Qualidade; Soldagem Robotizada; MIG/MAG

ABSTRACT

The GMAW or MIG / MAG welding is one of the most used and preferred processes by the Automotive industry, for relatively lower costs compared to other manufacturing methods, a main characteristic of the welding process is a union of metallic materials. When used or performed inappropriately, this process allows for the appearance of failures and errors that can compromise the productivity and quality of the product. This work aims to analyze and compare the technical and economic aspects of the GMAW welding method between semi-automatic and robotic modes in the manufacture of products and services supplied to the automotive industry. We can observe that the use of a robotic welding system has greater efficiency and stability during the execution of welds, which reduces the number of failures and minimizes errors in a semi-automatic welding process. The results obtained during a comparative analysis demonstrate a reduction in the number of failures and an elimination of errors related to the skill of the welder.

Keywords: Productivity; Welding; Quality; Robotized Welding; MIG/MAG.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Subgrupo soldagem a arco (AW), segundo AWS.....	8
Figura 2 - Princípios do processo de soldagem GMAW.....	9
Figura 3 - Vantagens do processo GMAW.....	10
Figura 4 - Vantagens do processo GMAW.....	10
Figura 5 - Equipamento básicos de soldagem GMAW	11
Figura 6 - Tocha utilizada para soldagem GMAW	12
Figura 7 - Classificação dos metais de adição.....	13
Figura 8 - Arames sólidos	14
Figura 9 - Efeitos do gás de proteção no perfil do cordão	17
Figura 10 - Relação da tensão e corrente e os tipos de transferência.....	18
Figura 11 - Transferência por curto-circuito	19
Figura 12 - Transferência Globular	20
Figura 13 - Efeitos do gás de proteção no perfil do cordão.....	20
Figura 14 - Característica de queima - Aço.....	21
Figura 15 - Microestrutura do aço S420MC	24
Figura 16 - Zonas de uma junta soldada.....	25
Figura 17 - Algumas das principais descontinuidades	26
Figura 18 - Processo de soldagem semiautomático	27
Figura 19 - Robô utilizado no processo GMWA	28
Figura 20 - Pontos de aplicação da Soldagem robotizada.....	29
Figura 21 - Aplicação do produto fornecido para indústria automotiva	32
Figura 22 - Desenho do produto	33
Figura 23 -Metal de Adição arame maciço – (ER70S-6).....	34
Figura 24 - Mistura de gases de proteção.....	35
Figura 25 - Características do cordão de solda do produto	36
Figura 26 - Características do produto após conformado	36
Figura 27 - (A) Fonte de soldagem (B) Alimentador de arame (C) Tocha	37
Figura 28 - Sistema de tracionamento do alimentador	37
Figura 29 - Robô (A) Controlador (C) Fonte (D).....	38
Figura 30 – Regulagem do comprimento do arco	38
Figura 31 - Fluxômetro (Bibímetro)	39
Figura 32 - Balança de pesagem - Precisão	39
Figura 33 - Balança convencional.....	40

Figura 34 - Cortadora Metalográfica	40
Figura 35 - Lixadeira e / Politriz	41
Figura 36 – A- FISPQ, B - Solução Química Nital 5 %	41
Figura 37 - Equipamentos de Segurança	42
Figura 38 - Microscópio Digital.....	42
Figura 39 - Processo Semiautomático	43
Figura 40 - Processo Robotizado.....	43
Figura 41 - Ângulo de trabalho da tocha.....	44
Figura 42 - Ângulo de trabalho da tocha.....	44
Figura 43 - Amostras utilizadas para o modo Semiautomático	46
Figura 44 - Amostras utilizadas para o modo Robotizado	46
Figura 45 – Amostras do cordão de solda modo - Semiautomático.....	47
Figura 46 - Amostras do cordão de solda modo - Robotizado	47
Figura 47 - Propriedades relacionadas a resistência da solda.....	50
Figura 48 - Localização da retirada de corpos de prova	51
Figura 49 - Plano de corte e secções das amostras	51
Figura 50 - Cortadora Metalográfica Arotec - COR120.....	52
Figura 51 – (A, B) Lixadeira Arotec, (C) Politriz APL-4.	52
Figura 52 - Ataque químico com solução Nital 5 %	53
Figura 53 - (A, B) Microscópio Digital Dino-Lite, (C) ZAC	53
Figura 54 - Ensaio visual modo semiautomático.....	54
Figura 55 - Ensaio visual modo Robotizado.....	55
Figura 56 – Pesagem dos carretéis	56
Figura 57 - Pesagem amostras soldadas.....	57
Figura 58 - Rendimento de deposição (%).....	58
Figura 59 - Taxa de deposição (Kg/h).....	59
Figura 60 - Energia imposta (J/mm).....	61
Figura 61 - Análise da garganta amostras – A1, A2 e A3	61
Figura 62 – Análise da largura amostras – A1, A2 e A3	61
Figura 63 - Análise da garganta amostras – B1, B2 e B3	62
Figura 64 - Análise da largura amostras – B1, B2 e B3	62
Figura 65 - Composição de custos processo semiautomático	67
Figura 66 - Composição de custos processo robotizado	67
Figura 67 – Comparativo dos custos totais	68

Lista de tabelas

Tabela 1 - Parâmetros de soldagem para juntas na posição plana.....	15
Tabela 2 – Gases de proteção para os processos MIG	16
Tabela 3 - Variáveis da equação de energia imposta	22
Tabela 4 – Custos de Soldagem	30
Tabela 5 – Composição química do aço DIN EN-10149-2 S420MC.....	33
Tabela 6 - Propriedades mecânicas do aço DIN EN-10149-2 S420MC.....	33
Tabela 7 - Composição química do arame ER70S-670S-6.....	34
Tabela 8 - Propriedades mecânicas do arame ER70S-6	35
Tabela 9 - Composição da mistura em função dos metais de base	35
Tabela 10 – Parâmetros de soldagem utilizados para obtenção das amostras.....	45
Tabela 11 - Dados preliminares dos modos de soldagem	48
Tabela 12 – Critérios de classificação das peças soldadas	48
Tabela 13 - Classificação dos métodos de testes	49
Tabela 14 - Propriedades relacionadas a resistência das peças soldadas.	49
Tabela 15 – Resultados do ensaio visual conforme norma TSH5603G.	55
Tabela 16 - Peso de arame consumido.....	56
Tabela 17 – Peso das amostras soldadas.....	57
Tabela 18 - Rendimento de deposição.....	58
Tabela 19 – Peso médio das amostras e tempo de arco aberto	59
Tabela 20 - Energia imposta (J/mm)	60
Tabela 21 - Resultado das amostras.....	62
Tabela 22 - Custo do metal de adição depositado conforme Eq. (2.1).....	63
Tabela 23 - Custo da energia elétrica consumida Eq. (2.2).....	64
Tabela 24 - Custo do processo manual conforme Eq. (2.3)	65
Tabela 25 - Custo do processo robotizado conforme Eq. (2.3)	65
Tabela 26 - Custo do gás conforme Equação (2.4).....	66
Tabela 27 - Custo total da soldagem Eq. (2)	66

Lista de abreviaturas e siglas

ASME - Sociedade Americana dos Engenheiros Mecânicos

ASTM - Sociedade Americana para Ensaios e Materiais

AWS - Sociedade Americana de Soldagem

DBCP - Distância do bico de contato à peça

FBTS - Fundação Brasileira de Tecnologia em Soldagem

GMAW – Soldagem a arco de metal com gás

MAG - Gás ativo no metal

MIG - Gás inerte no metal

ZAC - Zona afetada pelo calor

ZF – Zona fundida

ZTA – Zona termicamente afetada

FISPQ – Ficha de segurança de produtos químicos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo geral.....	6
2.2 Objetivos específicos	6
2.2 Justificativa	7
2.3 Hipóteses.....	7
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	8
3.1 Definição de Soldagem.....	8
3.2 Processos de Soldagem	8
3.3 Processo de Soldagem GMAW	9
3.4 Equipamentos.....	11
3.5 Classificação dos materiais de adição	13
3.6 Parâmetros de soldagem em relação aos consumíveis.....	14
3.7 Tipo de gás de proteção	15
3.8 Tensão de arco.....	17
3.9 Modos de transferência	18
3.9.1 Tipos de transferência do metal de adição nos processos GMAW.....	18
3.9.2 Transferência por curto-circuito	19
3.9.3 Transferência globular	19
3.9.4 Transferência por <i>Spray-Arc</i>	20
3.10 Corrente de soldagem	21
3.11 Velocidade de alimentação o arame.....	21
3.12 Velocidade de soldagem.....	22
3.13 Energia imposta (<i>Heat input</i>)	22
3.14 Comprimento do arame livre (Stick-Out).....	24
3.15 Aço EN-10149-2 S420MC	24
3.16 Metal de base	25
3.17 Zona Fundida.....	25

3.18 Zona Afetada pelo Calor	25
3.19 Descontinuidades existentes no processo de solda (GMAW) de topo.....	26
3.20 Soldagem Semiautomática	27
3.21 Soldagem robotizada	28
3.22 Robôs de solda na fabricação de produtos para indústria automotiva	29
3.23 Custos em soldagem	30
4 METODOLOGIA	31
4.1 Delineamento da pesquisa	31
4.2 Estudo de caso realizado em uma Indústria Metalúrgica.....	32
4.2.1 Apresentação da empresa	32
4.3.1 Metal de base (Produto)	33
4.3.2 Consumíveis - Metal de adição e gás de proteção	34
4.3.3 Metal de adição	34
4.3.4 Gás de proteção	35
4.4 Preparação das amostras.....	36
4.5 Equipamentos	37
4.5.1 Equipamentos do Processo Semiautomático	37
4.5.2 Equipamentos do Processo Robotizado	38
4.5.3 Fluxômetro / Bibímetro	39
4.6 Balança de Precisão	39
4.7 Balança convencional	40
4.8 Caracterização macroestrutural.....	40
4.8.1 Cortadora Metalográfica COR120	40
4.8.2 Lixadeira / Politriz.....	41
4.8.3 Ataques e Soluções	41
4.8.4 Ficha de informação e segurança de produtos químicos.....	42
4.8.5 Microscópio Digital.....	42
4.9 Método Comparativo.....	43
4.9.1 Posição de soldagem.....	44

4.9.2 Planejamento e programação das fontes de soldagem	45
4.9.3 Preparação das peças utilizadas no estudo	46
4.9.4 Soldagem das amostras utilizadas no estudo.....	47
4.9.5 Classificação das peças soldadas	48
4.9.6 Características de Qualidade.....	49
4.9.7 Plano de corte das amostras	51
4.9.8 Caracterização macroestrutural	52
5 RESULTADOS	54
5.1 Ensaio visual.....	54
5.2 Rendimento de deposição	56
5.3 Rendimento de deposição	58
5.4 Taxa de deposição	59
5.5 Energia imposta (<i>heat input</i>).....	60
5.6 Caracterização macroestrutural.....	61
5.7 Resultados econômicos.....	63
6 CONCLUSÃO	69

1 INTRODUÇÃO

Com a rapidez da difusão da soldagem no último século, a utilização da soldagem atualmente é um fator indispensável na indústria, por ser o mais importante método para união permanente de metais, atualmente está presente em diversos ramos como a engenharia, ou em segmentos que detém baixa tecnologia, como a indústria de serralheira, ou indústrias que possuem elevados níveis de tecnologia e complexidade, como indústria petroquímica e aeroespacial. (ALVES, 2009).

A utilização do processo semiautomático de soldagem GMAW, possui variações e características determinantes na qualidade da solda, além de possibilitar erros durante a sua execução, por se tratar de um processo que depende especificamente da habilidade do soldador, esses fatores tornam o processo instável e ineficiente gerando um número alto de falhas e consequentemente refugos elevando os custos do processo produtivo (ALVES, 2009).

A utilização de robôs na automatização dos processos de soldagem se tornou uma característica fundamental para se obter melhorias no controle da produção, principalmente na qualidade devido ao nível de repetibilidade, por possuir uma fadiga muito inferior a humana o que possibilita uma grande quantidade de horas trabalhadas maior, sem interrupções o que aumenta a sua produtividade.

A soldagem robotizada possui grande flexibilidade e performance durante a sua aplicação na soldagem de produtos ou conjuntos, sua utilização na indústria torna a mesma mais competitiva no mercado, a redução dos custos internos é outro fator utilizada para implementar uma célula robotizada (TREMONTI; 1999).

O presente trabalho teve objetivo de realizar uma comparação entre os modos de soldagem semiautomática e robotizada utilizando o processo de soldagem GMAW. A metodologia foi baseada no estudo de tempos, parâmetros de processo, análise macrográfica e padrões de qualidade foi a base para a análise dos processos estudados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o processo de soldagem GMAW entre os modos semiautomáticos e robotizados considerando, de forma comparativa, os aspectos técnicos e econômicos existentes em uma indústria de autopeças.

2.2 Objetivos específicos

Para atender o objetivo geral, é necessário que alguns objetivos específicos sejam atingidos:

- Analisar as características macrográfica das juntas soldadas;
- Comparar os resultados dos ensaios, padrões e requisitos de qualidade;
- Comparar os custos com a mão de obra no setor de soldagem;
- Comparar a taxa de deposição (kg/h), rendimentos, tempos de processo;
- Comparar o rendimento de deposição (kg/h), rendimentos, tempos de processo;

2.2 Justificativa

A utilização de tecnologias como os robôs em específico no processo de soldagem, contribui diretamente no aumento da produtividade, e qualidade além de reduzir custos de fabricação através da automação de processos tornando as empresas mais competitivas em relação aos seus concorrentes.

2.3 Hipóteses

A utilização de Robôs articulados pode simular movimentos e ações de um ser humano na soldagem, e com certos limites, provem uma alternativa aceitável para substituir o homem apenas em tarefas monótonas e fatigantes.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica é a base de fundamentação técnica e teórica para a elaboração de trabalhos, pois utiliza como fonte de referência livros, normas, artigos dentre outras fontes que quando utilizadas podem ser empregadas novamente no âmbito acadêmico ou profissional (LAKATOS E MARCONI;1992).

3.1 Definição de Soldagem

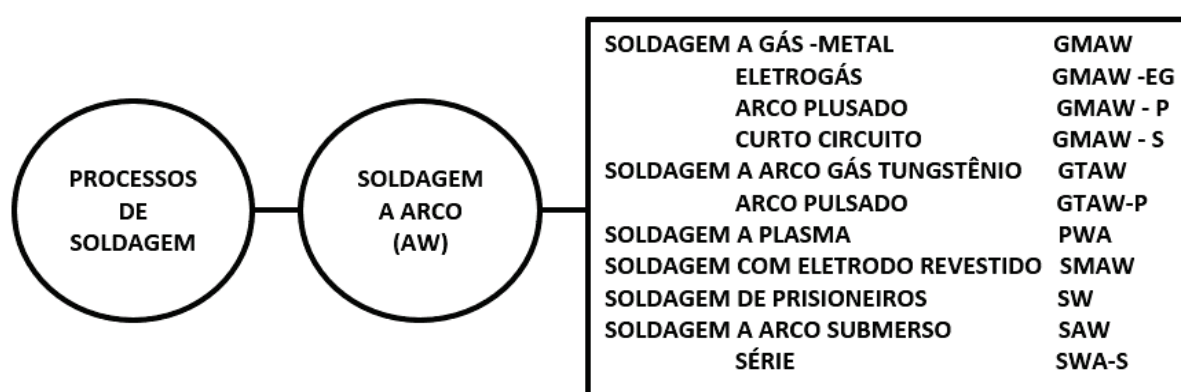
Denominada como uma arte de unir materiais metálicos, registros indicam que a soldagem já era conhecida desde a era pré-história, por exemplo nos processos de brasagem desde os anos 3.000 ou 4.000 a.C. mais com o passar dos anos e com a descoberta da energia elétrica houve um impulso em que a soldagem atingiu um estágio a que se encontra atualmente (OKUMURA e TANIGUCHI; 1982).

3.2 Processos de Soldagem

De acordo com a AWS (*American Welding Society*) os processos de soldagem podem ser classificados em dois grandes grupos. O primeiro grupo é caracterizado por utilizar a pressão ou deformação na união de metais, o segundo grupo tem como principal característica a fusão, que é gerada através de um arco elétrico como fonte de calor, atualmente os processos que utilizam o arco elétrico são os mais utilizados na indústria.

Os grupos e seus subgrupos são identificados por meio de uma nomenclatura universal abreviada que pode ser modificada com base no idioma local conforme o exemplo apresentado na Figura 1, (VILLANI, MODENESI E BRACARENSE;2011).

Figura 1 - Subgrupo soldagem a arco (AW), segundo AWS



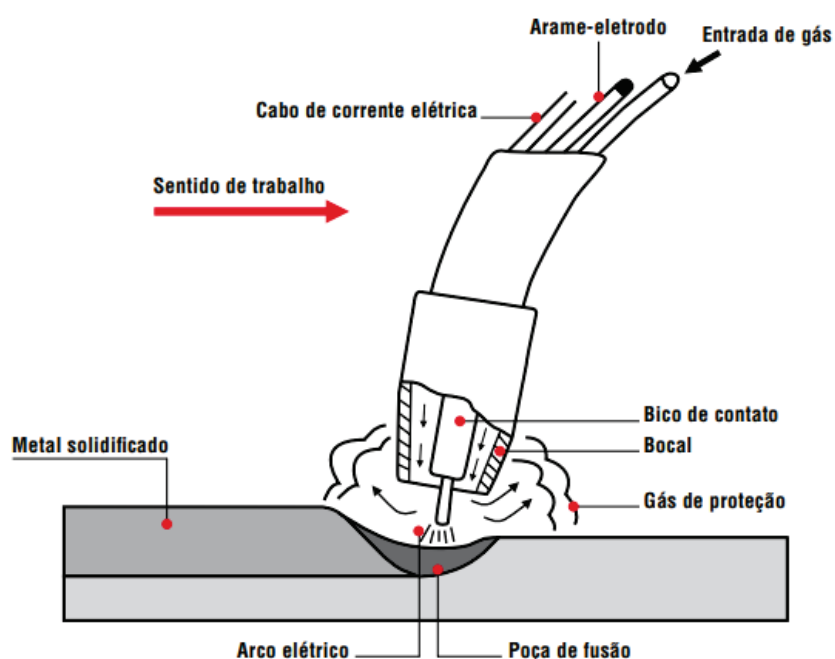
Fonte: Adaptado de (VILLANI, MODENESI E BRACARENSE; 2011).

3.3 Processo de Soldagem GMAW

O processo de soldagem GMAW utilizado no trabalho será explicado simplificadaamente a seguir:

Soldagem com arame sólido sob proteção gasosa ou, em inglês, *Gás Metal Arc Welding* (GMAW) é o nome dado o processo de soldagem em que, uma fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo consumível (metal de adição) alimentando continuamente, e a peça de trabalho (metal de base), com a proteção da região de soldagem feita por um fluxo de gás ativo MIG, a soldagem pode ser no modo semiautomático ou robotizado a Figura 2, apresenta de forma esquematizada este tipo de processo de soldagem (BRANDI;2004).

Figura 2 - Princípios do processo de soldagem



Fonte: VILLANI, MODENESI E BRACARENSE, (2007)

A principal característica desse processo é a proteção gasosa que tem como principal objetivo formar uma atmosfera protetora beneficiando a zona soldada, protegendo-a mesma contra a ação de outros gases que podem comprometer a integridade da soldagem (TREMONTI; 1999).

Segundo Brandi (2004), o processo GMAW possui enumeras vantagens durante a soldagem de juntas, por se tratar de um processo de baixo custo, além de possui uma grande vantagem durante a sua execução, permitindo uma grande variação e flexibilidade em relação a posição de soldagem, permitindo o trabalho em todas as posições.

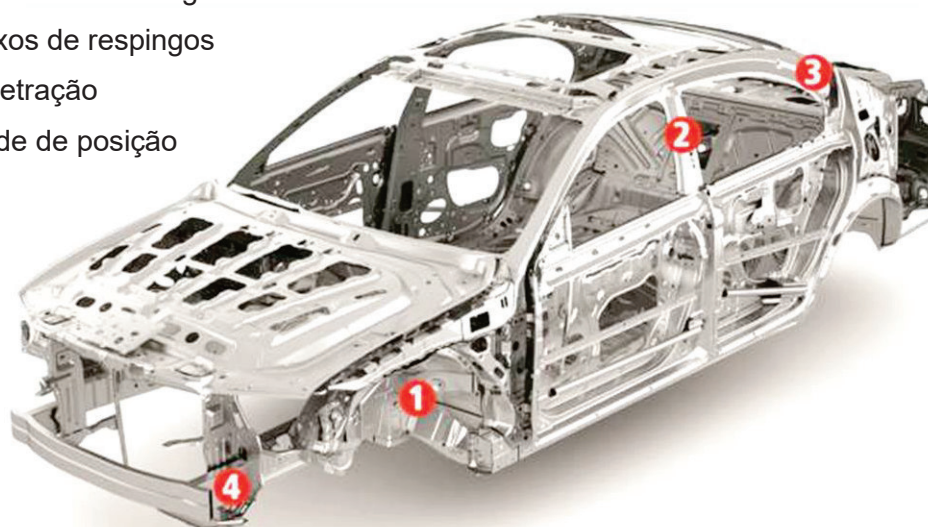
O processo de soldagem GMAW apresentam algumas vantagens apresentadas na Figura 3, porém apresentam algumas limitações em relação ao seu processo, consumíveis e segurança.

Durante a execução da atividade é gerado uma grande emissão de raios ultravioletas e infravermelhos que podem ser prejudiciais ao trabalhador quando ele não estiver devidamente protegido, em alguns casos podem aparecer trincas nas juntas soldadas, essa falha está relacionada à maior velocidade de resfriamento, os equipamentos utilizados nesse processo possuem custos elevados, devido ao seu nível de complexibilidade e manutenção (BRANDI; 2004).

A indústria automobilista tem optado por utilizar cada vez mais por esse tipo de processo por se tratar de um processo de baixo custo e possuir uma grande flexibilidade do processo produtivo.

Figura 3 - Vantagens do processo GMAW

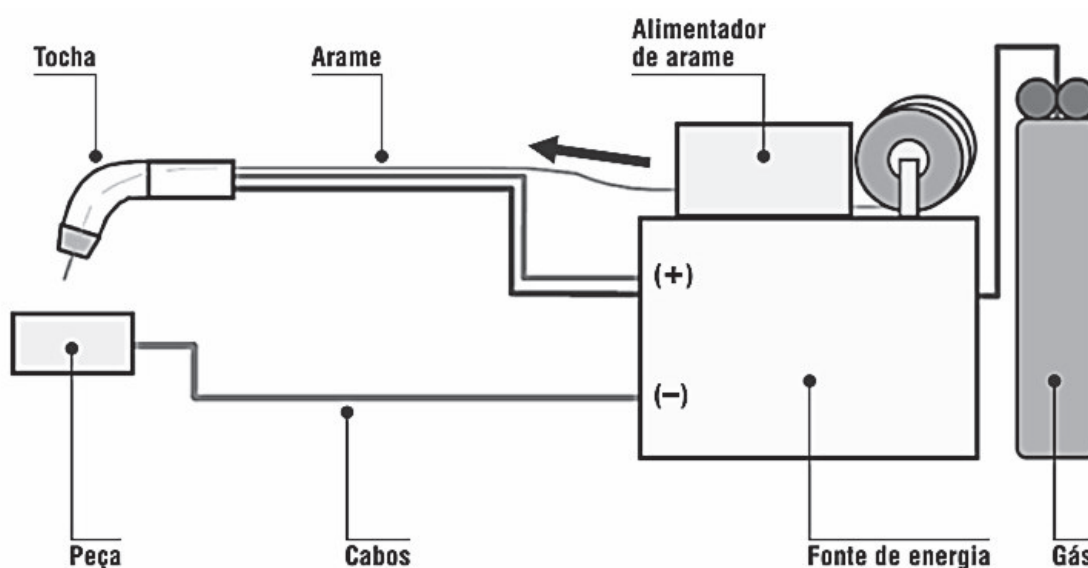
- (1) Alta velocidade de soldagem
- (2) Níveis baixos de respingos
- (3) Ótima penetração
- (4) Flexibilidade de posição



3.4 Equipamentos

O equipamento básico de soldagem GMAW apresentado na Figura 5 é considerado semiautomático por alimentar o metal de adição de forma automática pela máquina, utiliza proteção gasosa durante a soldagem, são compostos por uma máquina de soldagem, fonte de energia, alimentador de arame, uma tocha de soldagem e cilindros de gás de proteção (BRANDI; 2004).

Figura 5 - Equipamento básicos de soldagem GMAW



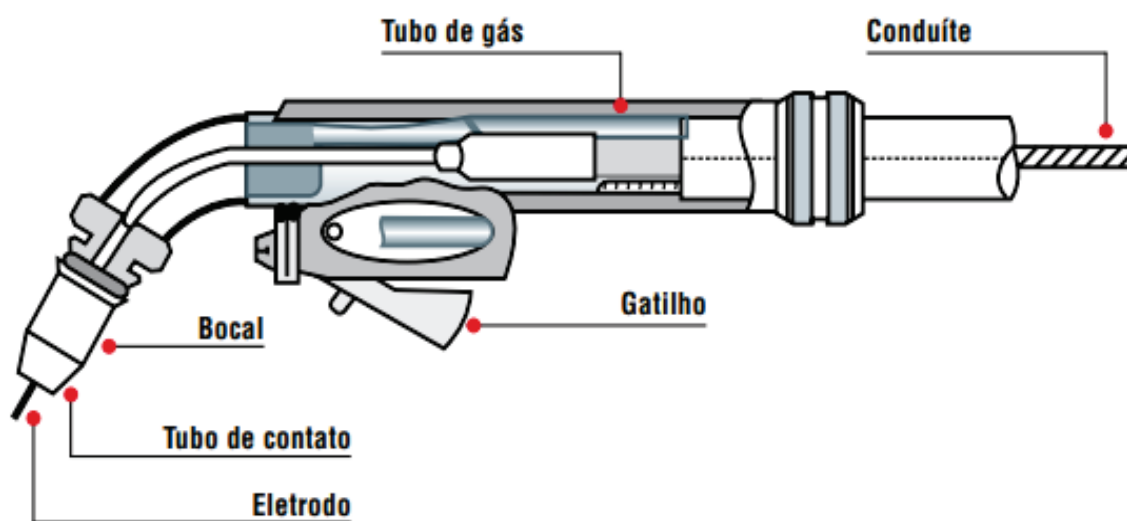
Fonte: VILLANI, MODENESI E BRACARENSE; (2007)

O tipo de fonte de energia utilizada possui a característica de potencial constante, o que permite a autorregulagem constante do comprimento do arco este comportamento acontece de acordo com as variações da tensão (variação no comprimento do arco), esse tipo de variação ocorre de forma imediata na fonte que promove um alta variação de corrente aumentando ou diminuindo, restabelecendo quase de forma imediata o comprimento do arco e tensão original. (BRANDI, 2004,).

O alimentador de arame é a parte do conjunto que permite transportar o arame da bobina a tocha, ele é composto por um sistema de alimentação contínua por meio de roldanas que realizam o tracionamento do arame para dentro do conduíte.

A tocha de soldagem apresentada na Figura 6 é composta por alguns elementos básicos são eles: bocal de orientação do fluxo de gás de proteção; bico de contato de cobre responsável pela transferência da energia para o arame do eletrodo; o acionamento do sistema é realizado por um gatilho; e um cabo de corrente responsável por conduzir a energia elétrica da fonte de soldagem até a peça a ser soldada (WAINER, BRANDINI E MELO, 2005).

Figura 6 - Tocha utilizada para soldagem GMAW



Fonte: WAINER, BRANDI E MELO; (2005)

O sistema que controle é localizado na parte frontal do equipamento é através dele que é possível realizar os comandos principais de funcionamento como: abrir e fechar da válvula do gás de proteção, acionar do motor elétrico do alimentador de arame, controlar a velocidade de alimentação do arame e o controlar da válvula da água de refrigeração, caso a tocha possua essa característica de resfriamento por água, na parte frontal também está localizado o painel de regulação dos parâmetros de soldagem (WAINER, BRANDINI E MELO; 2005).

Parâmetros estes que podem ser controlados através da seleção de comandos tais como a corrente e tensão de soldagem e a velocidade de alimentação do arame.

O alimentador não possui uma ligação direta com a fonte de energia, porém ao ajustar a velocidade do arame a corrente de soldagem fornecida pela fonte de energia também é ajustado (TREMONTI; 1999).

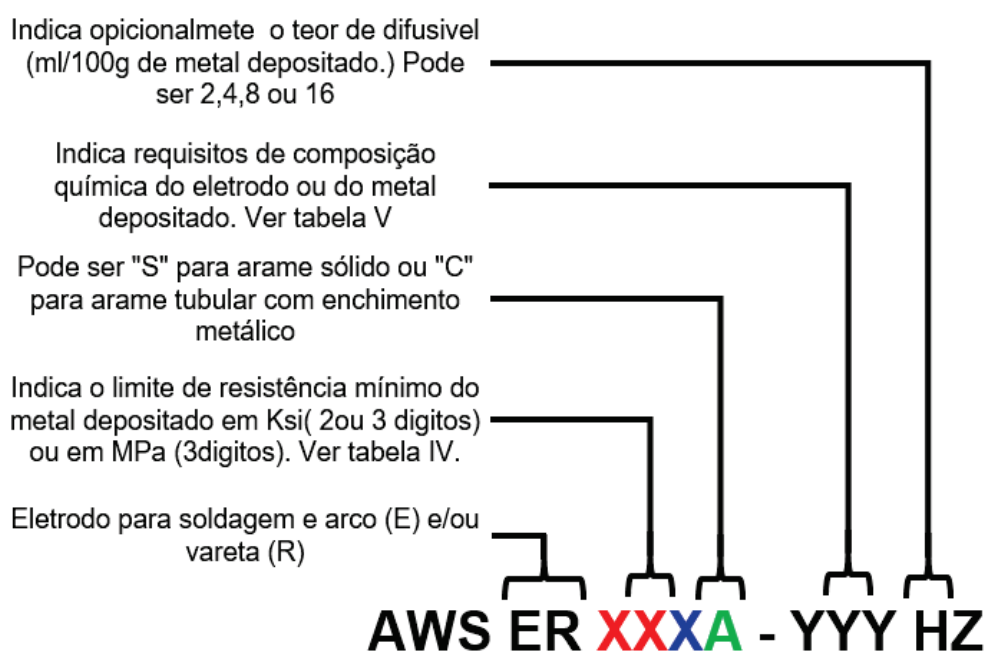
Durante o processo de soldagem são utilizados consumíveis que são absorvidos como forma de proteção ou deposição de material na peça a que está sendo soldada, os gases e o arame-eletrodo são os consumíveis utilizados no processo de soldagem GMAW (TREMONTI; 1999).

3.5 Classificação dos materiais de adição

Geralmente os arames para a soldagem de aços, podem ter a sua seção inteiramente metálica, por isso são chamados de arame sólido ou tubular formado por uma camada metálica fechada e com um enchimento interno (VILLANI, MODENESI E BRACARENSE;2011).

A classificação do tipo de arame a ser utilizado em uma determinada operação de soldagem deve estar de acordo com o código ASME IX (2019), que define em termos a composição química do metal base, do gás de proteção a ser utilizado e sua composição química, além das propriedades mecânicas e de seus limites em relação ao metal base a Figura 4 apresenta o exemplo do código e seu formato:

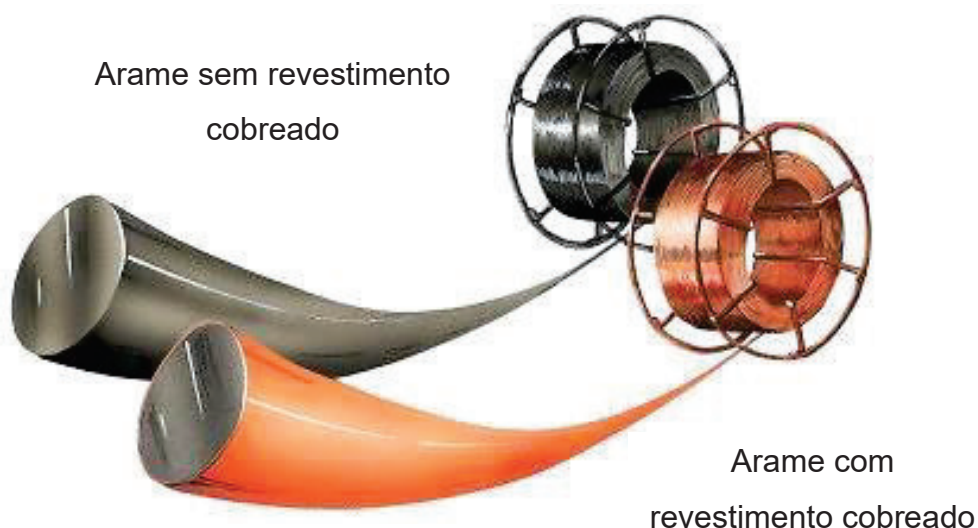
Figura 7 - Classificação dos metais de adição



Fonte: Adaptado de BRACARENSE, MARQUES, MODENESI (2009).

Os arames contínuos e sólidos apresentados na Figura 8, e utilizados nos processos de soldagem GMAW nas variações MIG, podem conter em alguns casos características especiais por exemplo a proteção por uma fina camada de cobre que além de melhorar a condutividade elétrica durante a passagem pelo bico de contato, evita a oxidação, são fabricados e fornecidos com os diâmetros de 0,6 mm a 1,6 mm.

Figura 8 - Arames sólidos



Fonte – Adaptado de SOUZA e JÚNIOR e DUTRA (2020).

A utilização de arames sólidos no processo para soldagem GMAW é utilizado para unir de diversos materiais, como os aços baixos carbonos e suas ligas além da soldagem de metais e aços inoxidáveis, estes arames possuem duas funções, de um lado, age como polo positivo do circuito e de outro, como material de adição quando recebe a corrente e se funde, a escolha do diâmetro do consumível depende especificamente da espessura da chapa.

3.6 Parâmetros de soldagem em relação aos consumíveis

A classificação seleção do eletrodo nu e o seu diâmetro se dá através da taxa de fusão e penetração para esses valores são utilizadas tabelas de sugestões de parâmetros de preparação em juntas para materiais de aço carbono de acordo com a Tabela 1 que apresenta algumas dessas sugestões (BRANDI, 2004).

Tabela 1 - Parâmetros de soldagem para juntas na posição plana

e(mm)	r(mm)	Ø do eletrodo nu (mm)	Velocidade de alimentação do eletrodo nu (m/min)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (cm/min)
1,6	0,8	0,8	6,6	110 - 130	19	63
	1,6	1,2	4,3	140 - 160	20	89
3,0	1,2	0,8	7,6	120 - 140	21	51
	1,6	1,2	4,3	140 - 160	21	63

Fonte: Adaptado de BRANDI (2004)

3.7 Tipo de gás de proteção

A principal função do gás é proteger a poça de fusão, impedindo as ações nocivas causadas por gases como o nitrogênio, oxigênio e do hidrogênio, o controle da atmosfera que envolve a poça de fusão, tem como principal função evitar possíveis formações de óxidos e de nitretos, o que pode comprometer as juntas soldadas, gerando defeitos tais como a retenção de escória, porosidades e fragilizações do cordão (DUTRA; 2020).

Os gases de proteção utilizados durante o processo, são armazenados em cilindros de gás, garrafas de aço que possuem alta resistência, e são instalados próximo ao posto de trabalho, a regulação dos gases de vazão é expressa em litros por minuto, e controlada através de um redutor-manômetro, responsável por diminuir a pressão dos gases em níveis adequados à alimentação da tocha de soldagem (BRANDI, 2004).

Os gases de proteção possuem influência no modo de transferência por curto-circuito, pois devem ser levados em consideração as características do processo de soldagem e os aços utilizados de acordo com a Tabela 2 que apresenta os gases utilizados para proteção no processo de soldagem (BRANDI, 2004).

Tabela 2 – Gases de proteção para os processos MIG

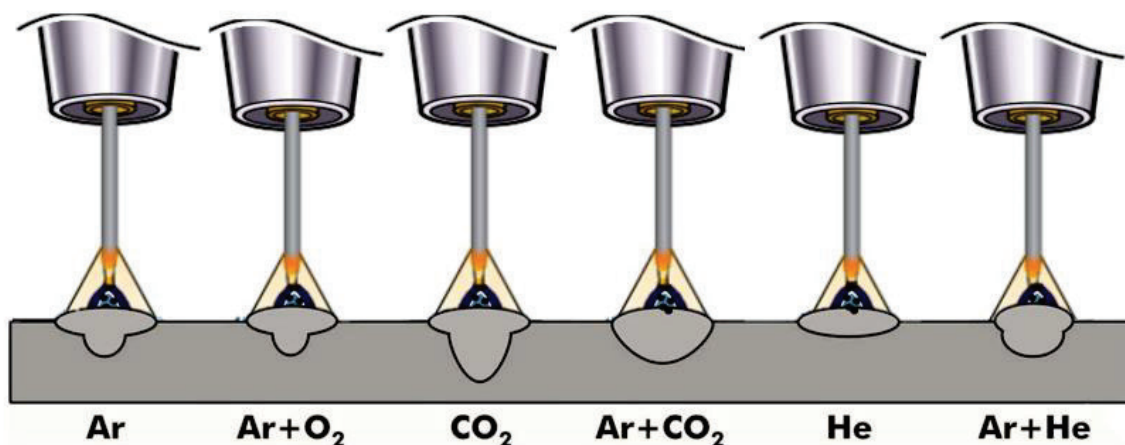
Gás de Proteção	Comportamento químico	Aplicações típicas
A+ (1-2 %) oxigênio	Levemente oxidante	Aços inoxidáveis e aços ligados
A+(3 – 5 %) oxigênio	oxidante	Aço-carbono e alguns aços de baixa liga
CO ₂	oxidante	Aço-carbono e alguns aços de baixa liga
A+(20 – 50 %) CO ₂	oxidante	Aço-carbono (transferência por curto-circuito)
A + 10 % CO ₂ +5 % oxigênio	oxidante	Aços-carbono (Europa)
CO ₂ +20 % oxigênio	oxidante	Aços-carbono (Japão)
90 % He+7,5 % A+2,5 % CO ₂	levemente oxidante	Aços inoxidáveis para boa resistência à corrosão (transferência por curto-circuito)
CO ₂	oxidante	Aços de baixa liga para boa tenacidade (transferência por curto-circuito)

Fonte: Adaptado de BRANDI (2004).

A utilização de 100% de CO₂ pode ter influência negativa em relação as propriedades mecânicas do metal depositado, pois existe um grande potencial em relação a oxidação do arco o que pode causar a diminuição de elementos de liga do metal fundido ou um aumento na quantidade de inclusões de óxidos (TESKE (2006).

A poça de fusão gerada no processo de soldagem através do calor gerado pela energia térmica do arco, depende especificamente do gás de proteção, pois determinam algumas características básicas do processo de soldagem, por exemplo o formato do cordão, possibilidade de soldagem fora da posição plana, redução no número de respingos, gera uma estabilidade no arco, para se obter a redução no número de óxidos é sugerido um aumento de elementos desoxidantes, a Figura 9 apresenta algumas diferenças relacionadas a geometrias de penetração das soldas conforme o tipo de gás utilizado (TESKE (2006).

Figura 9 - Efeitos do gás de proteção no perfil do cordão



Fonte: Adaptado de Soldagem MIG – Básico – ORTIZ e PEZATO; (2004)

Deve ser realizada uma análise da vazão e da utilização do oxigênio e o CO_2 quando adicionados ao argônio ou o hélio, pois esses gases garantem a proteção efetiva durante a soldagem de metais não ferrosos, porém quando utilizado puro como exemplo o argônio pode gerar mordeduras na soldagem de aços, esses tipos de mordedura podem ser eliminados com a utilização da mistura à base de argônio, adicionando concentrações de oxigênio ou CO_2 (BRACARENSE, A; 2003).

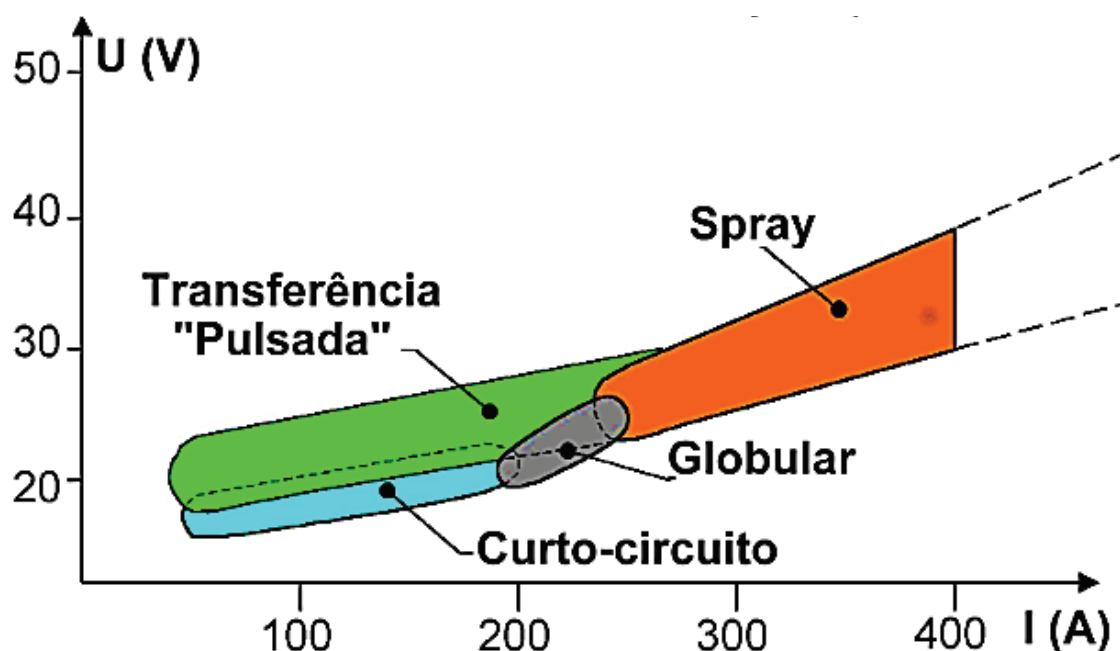
3.8 Tensão de arco

Na transferência por curto-circuito a tensão do arco tem associação direta com o seu comprimento de uma forma geral tensões do arco menores que 22 Volts favorecem a transferência por curto circuito, já a potência do arco é responsável pela largura do cordão assim para uma corrente constante, aumentando se a tensão aumenta se a largura do cordão ou vice e versa, os valores elevados de tensão pode, gerar defeitos na solda como porosidade, excesso de respingos e mordeduras, a utilização de uma tensão baixa pode se proporcionar o aparecimento de porosidade e sobreposição (BRANDI;2004).

Um das formas mais adequadas de estabilizar o arco de solda é controlando a intensidade da corrente através da tensão, outros fatores para determinar a tensão a ser utilizada no processo é o tipo de arame e o gás de proteção (BRANDI;2004).

A Figura 10 apresenta a influência da tensão em relação a corrente, e os tipos de transferências para cada condição.

Figura 10 - Relação da tensão e corrente e os tipos de transferência



Fonte: Adaptado de Processo MIG/MAG - ISQ (2003)

3.9 Modos de transferência

3.9.1 Tipos de transferência do metal de adição nos processos GMAW

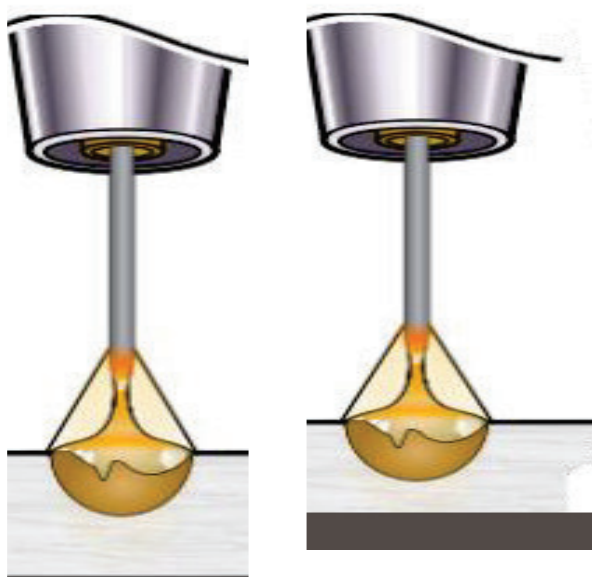
Nos diversos processos de soldagem a forma de transferência metálica se dá através do arco elétrico, as variações existentes no tipo de transferência não podem ser controladas de forma efetiva, por exemplo no processo eletrodo revestido que o tipo de transferência é determinado pela característica do revestimento, nos processos MIG e arame tubular pode se obter um controle efetivo sobre o modo de transferência (PEREZ; 2007).

Os modos de transferências metálicas podem ser classificados em três modos básicos de transferência metálica no processo GMAW, essa classificação pode ser determinada de acordo com o tipo de gás de proteção utilizado, o nível de corrente e tensão utilizada, o diâmetro do eletrodo, e o tipo do arame e do metal base.

3.9.2 Transferência por curto-circuito

A utilização de valores baixos de correntes durante o processo de soldagem, faz com que ao abrir o arco elétrico a ponta do arame inicie o processo de fusão gerando um pequeno glóbulo que começa a crescer em função da baixa corrente, apresentado na Figura 11, em seguida este glóbulo, antes de desprender-se da ponta do arame, toca na poça de fusão, provocando um curto-circuito e transferindo-se de forma contínua para ela PEREZ; (2007).

Este tipo de transferência possui algumas características como, um ruído, número elevado de respingos, possibilita a soldagem em todas as posições.



Fonte: Adaptado de DRUWOODARD (2016)

3.9.3 Transferência globular

O modo globular ocorre ao utilizar níveis de correntes ainda mais baixos, porém acima do nível de curto-circuito. A transferência é iniciada na ponta do eletrodo ao gerar um glóbulo com o diâmetro maior que a ponta do eletrodo apresentado na Figura 12, que se desprende-se da ponta do arame e transfere-se para a poça sem muita direção, provocando uma grande quantidade de respingos, esse tipo de transferência é restrita em algumas posições devido ao difícil controle da poça de fusão PEREZ; (2007).

ERROR: IOError
OFFENDING COMMAND: image

STACK:

-mark-
-savelevel-