

D O S S I Ê T É C N I C O

Soldagem Robotizada

Fábio Tiburi

SENAI-RS
Centro Tecnológico de Mecatrônica

Junho
2006



DOSSIÊ TÉCNICO



Sumário

INTRODUÇÃO	3
1 OBJETIVO	3
2 PROCESSOS DE SOLDAGEM EMPREGADOS EM SOLDAGEM ROBOTIZADA	3
2.1 Soldagem por arco elétrico	4
2.1.1 GMAW	4
2.1.2 FCAW	4
2.2 Soldagem por resistência elétrica	5
2.2.1 RSW	5
2.3 Tipo de juntas soldadas	6
2.4 Consumíveis	7
2.4.1 Gases de proteção	7
2.4.2 Metal de adição	7
2.5 POSIÇÃO DE SOLDAGEM	8
2.5.1 Posição de plana	8
2.5.2 Posição horizontal	8
2.5.3 Posição vertical	9
2.5.4 Posição sobre-cabeça	9
2.6 Variáveis controladas durante o processo	9
3 PROCEDIMENTO PARA PROGRAMAÇÃO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA	10
3.1 Comandos de posicionamento e movimentação	10
3.1.1 Movimento de junta MOVJ	11
3.1.2 Movimentação de Linear MOVL	11
3.2 COMANDOS DE CONTROLE DE SOLDAGEM	11
3.2.1 Comando de abertura de arco ARCON	11
3.2.2 Comando de fechamento de arco ARCOF	11
3.2.3 Comando ativar o movimento de tecimento WVON	13
3.2.4 Comando desativar o movimento de tecimento WVOF	13
3.2.5 Comando de definição de pontos de referência REFP	14
3.3 ARQUIVOS DE CONDIÇÃO DE SOLDAGEM	14
3.3.1 Arquivo de condição de abertura de arco	14
3.3.2 Arquivo de condição de fechamento de arco	15
3.3.3 Arquivo de condição auxiliar	15
3.3.4 Arquivo de condição de costura	16
3.4 EXEMPLOS	21
3.4.1 Exemplo de programa utilizado para soldagem com costura	21
3.4.2 Exemplo de programa utilizado para soldagem sem costura	21
4 EQUIPAMENTOS	22
4.1 Robô para soldagem	22
4.2 Equipamento de soldagem	22
4.2.1 Fonte	23
4.2.2 Alimentador de arame	23
4.2.3 Tocha	23

4.2.4 Sistema de distribuição do gás de proteção	24
5 PLANTAS INDUSTRIAIS	25
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	25
REFERÊNCIAS	26
ANEXOS	
ANEXO 1 – Fornecedores	26
ANEXO 2 – Instituições e associações	27
ANEXO 3 – <i>Sites</i> interessantes	27

	<h1>DOSSIÊ TÉCNICO</h1>	
---	-------------------------	---

Título

Soldagem Robotizada

Assunto

Metalúrgica básica

Resumo

A utilização do processo de soldagem robotizada na indústria cresce a cada dia devido à exigências crescentes impostas pelo mercado no que diz respeito à competitividade, qualidade e redução de preços. Um conjunto de equipamentos é utilizado para que o objetivo do uso desta tecnologia seja atingido. Podemos dizer que o robô, a fonte de soldagem, a tocha e o sistema de fixação da peça são os principais elementos envolvidos. Através de um conjunto de comandos é possível realizar a programação do robô, o qual vai executar a soldagem.

Palavras-chave

Robótica; programação de robôs; solda; soldagem; soldagem robotizada

Conteúdo

INTRODUÇÃO

Atualmente a exigência de produção cada vez mais veloz com alta qualidade e baixos custos faz com que a utilização de novas tecnologias sejam a chave para o sucesso de uma empresa.

O processo de soldagem é extremamente utilizado na indústria metal-mecânica em geral, deste modo a sua automação fica em evidência no que diz respeito a sua competitividade. A utilização de um robô na soldagem robotizada permite que sejam atingidos os principais objetivos para que uma empresa seja competitiva atualmente, tais como: rapidez, repetibilidade, segurança e adequação de custo.

1 OBJETIVO

Este dossiê tem como objetivo apresentar os principais conceitos sobre soldagem robotizada.

2 PROCESSOS DE SOLDAGEM EMPREGADOS EM SOLDAGEM ROBOTIZADA

De nada adianta saber programar o robô ou uma célula robotizada, sem o perfeito conhecimento e domínio do processo que está sendo robotizado, pois o robô por si só não sabe soldar e cabe ao programador “ensiná-lo”. O domínio da tecnologia da soldagem é indispensável para se conseguir uma perfeita e eficaz automação deste processo.

2.1 Soldagem por arco elétrico

Este processo tem como principal característica a passagem de um arco elétrico através de um eletrodo e uma peça ou por duas peças metálicas, as quais devido ao efeito Joule, atingem temperatura de fusão e se unem, formando assim um único elemento.

No caso do uso de eletrodos consumíveis, o calor do arco funde o metal base, formando uma cavidade ou cratera na peça; e, simultaneamente, fundindo a extremidade do eletrodo que está sendo adicionado. É conveniente lembrar, pode-se executar uma soldagem com ou sem a adição de um metal (eletrodo consumível), neste último caso chama-se soldagem autógena.

Como durante o processo de soldagem o metal está no estado líquido por um período de tempo, os elementos químicos presentes na atmosfera podem contaminar o metal fundido, tornando a junta com características mecânicas fora da especificação. Para evitar esta contaminação, deve-se criar uma atmosfera protetora para proteger a poça de fusão durante o processo. Esta atmosfera protetora pode ser obtida pela queima do revestimento do eletrodo, fluxo (pasta ou pó compostos por elementos de liga, desoxidantes e outros elementos) ou pela adição de um gás de proteção.

A seguir será feita uma breve descrição de cada um dos processos de soldagem por arco elétrico utilizados em processos robotizados.

2.1.1 GMAW

De acordo com a AWS (1997), a principal característica deste processo de soldagem é que um arame sólido é continuamente adicionado, caracterizando desta forma um processo semi-automático, mesmo sem a utilização de um robô. Outra característica deste processo é que a proteção da poça de fusão é feita por um fluxo de gás que pode ser ativo ou inerte. O processo GMAW é conhecido como *Metal Inert Gas* (MIG), quando a proteção gasosa utilizada for constituída de um gás inerte, normalmente Argônio ou Hélio, e que não tem nenhuma reação química com a poça de fusão. Quando a proteção gasosa é feita com um gás dito ativo, ou seja, um gás que reage com a poça de fusão, normalmente CO₂ - dióxido de Carbono, o processo é conhecido como *Metal Active Gas* (MAG).

Uma das características básicas deste processo, em relação aos outros processos de soldagem manuais, é sua alta produtividade. De um modo geral, pode-se dizer que as principais vantagens da soldagem MIG/MAG são: alta taxa de deposição e alto fator de trabalho do soldador, grande versatilidade quanto ao tipo de material e espessuras aplicáveis, não existência de fluxos de soldagem e, conseqüentemente, ausência de operações de remoção de escória e exigência de menor habilidade do soldador, quando comparada à soldagem com eletrodos revestidos.

A principal limitação da soldagem MIG/MAG é a sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado. Além da necessidade de um ajuste rigoroso de parâmetros para se obter um determinado conjunto de características para solda, a determinação destes parâmetros para se obter uma solda adequada é dificultada pela forte interdependência existente entre eles. O grande custo e uma maior necessidade de manutenção deste tipo de equipamento em comparação com o equipamento de soldagem com eletrodos revestidos e menor variedade de consumíveis são outras limitações deste processo.

2.1.2 FCAW

De acordo com a FBTS (2003) a união dos processos de soldagem GMAW e da soldagem por eletrodo revestido *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), ou seja, um arco elétrico

estabelecido entre um eletrodo e a peça, envolto por uma atmosfera protetora de gás gerada pela queima do fluxo contido no interior do arame (aramé tubular). Este processo utiliza os mesmos equipamentos do GMAW, sendo que a única diferença, é o arame consumível na forma de tubo com fluxo em seu interior.

A utilização de arame tubular dá uma alta qualidade ao metal de solda depositado, excelente aparência ao cordão de solda, boas características de arco, além de diminuir o número de respingos e possibilidade de solda em todas as posições, sendo muito utilizado para soldagem de aços carbono e baixa liga, em chapas de média e fina espessura.

O processo de soldagem por arame tubular tem duas variantes, podendo ser protegido por gás inerte, por gás ativo ou por uma mistura destes, podendo ainda ser autoprotégido, ou seja, sem a utilização de gases de proteção.

É válido lembrar, o processo de soldagem GMAW robotizado pode ser facilmente transformado em um processo de soldagem FCAW robotizado, apenas trocando o tipo de roldana do alimentador de arame.

2.2 Soldagem por resistência elétrica

Na soldagem por resistência, as peças a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra, por meio de eletrodos não consumíveis, ou seja, os mesmos não sofrem fusão durante o processo e sim são responsáveis pela passagem de corrente elétrica. Segundo a Lei de Joule, a quantidade de calor gerada com a passagem de uma corrente elétrica é proporcional ao tempo, resistência e intensidade da corrente elétrica, e deverá ser suficiente para permitir que a região de contato entre as peças a serem soldadas, atinja o ponto de fusão.

Os três principais parâmetros controlados no processo de soldagem por resistência são o aquecimento, tempo e pressão.

A temperatura a que deve se submeter as chapas a serem soldadas, deve atingir cerca de 1300°C no núcleo da solda, para obter a fusão adequada, ela não deve exceder a temperatura de 900°C na superfície diretamente em contato com o eletrodo, a fim de evitar modificações metalúrgicas na estrutura do material.

O tempo necessário para a corrente fluir e fazer a solda, influência na quantidade de calor gerado e terá influência no tamanho do ponto criado para garantir a resistência mecânica mínima requerida para a junta soldada.

A pressão sofrida pelas chapas, através dos eletrodos, atua diretamente na resistência elétrica na face de contato das chapas e, conseqüentemente, no calor gerado. Decrescendo a resistência, eleva-se a intensidade de corrente, aumentando o aquecimento produzido. Entretanto, decrescendo a pressão ou a força dos eletrodos, também aumenta o aquecimento na face dos eletrodos, podendo resultar num desgaste excessivo dos mesmos. Por outro lado aumentando-se excessivamente a pressão dos eletrodos, resultará uma deformação mecânica dos mesmos.

Como vantagem deste processo, este produz uma junta soldada com bom acabamento, sem escória e praticamente sem respingos. Além disso, permite a soldagem em qualquer posição e de diversos materiais.

2.2.1 RSW

Conhecida popularmente por solda ponto, esta variação do processo de soldagem por resistência elétrica é realizada utilizando uma pinça em forma de mandíbula, composta por

dois eletrodos que permitem a execução de um ponto de solda em um local específico. Este processo é largamente utilizado pela indústria automotiva na união da estrutura do corpo do automóvel.

2.3 Tipo de juntas soldadas

Com o objetivo de facilitar a comunicação e normalização do desenho de juntas soldadas, estas juntas foram definidas e classificadas segunda a posição dos elementos que serão unidos. Tipos de juntas utilizadas em soldagem (FIG. 1).

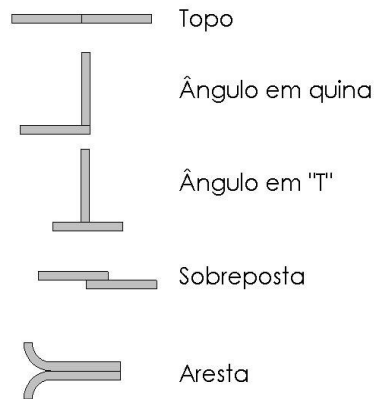


FIG. 1 - Tipos de juntas utilizadas em soldagem
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

Além do tipo de junta soldada, o tipo de solda é uma variável essencial no processo de soldagem, o qual será definido em função da presença ou não do chanfro no material de base que será unido. Neste caso serão abordados dois tipos: solda em filete (FIG. 2) e solda em chanfro (FIG. 3).

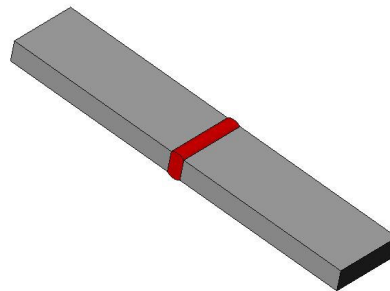


FIG. 2 - Junta de topo em filete
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

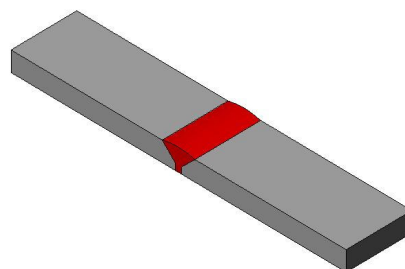


FIG. 3 - Junta de topo em chanfro
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

2.4 Consumíveis

De acordo com a terminologia estabelecida pela norma AWS A3.0, são chamados de consumíveis todos os materiais empregados na deposição ou proteção da solda, tais como: eletrodos revestidos, varetas, arames sólidos e tubulares, fluxos, gases e anéis consumíveis.

A seleção dos consumíveis depende do processo de soldagem que, por sua vez, é escolhido em função de vários fatores, entre os quais:

- metal de base;
- geometria e tipo de junta;
- posição de soldagem;
- tipo de fonte de energia;
- produtividade;
- habilidade do soldador.

Visto que o processo de soldagem GMAW é o mais utilizado em aplicações com robótica, neste sub-item, somente os consumíveis aplicados a este processo serão abordados.

2.4.1 Gases de proteção

Na seleção de gases de proteção adequados para a soldagem de determinados materiais, os seguintes fatores devem ser considerados: composição química e espessura do material de base, posição de soldagem e tipo de corrente.

Como dito anteriormente, os gases de proteção utilizados em um processo GMAW podem ser de dois tipos: inertes e reativos.

O argônio e o hélio representam os gases inertes, ou seja, não reagem com a poça de fusão durante a soldagem e normalmente são aplicados para a soldagem de materiais metálicos não ferrosos (alumínio, cobre) ou para a soldagem de aços inoxidáveis.

São chamados de gases reativos aqueles que reagem com o metal líquido da poça de fusão, sendo que o dióxido de carbono (CO₂), representa um gás ativo e o hidrogênio (H₂) representa um gás redutor.

Dependendo da aplicação, pode-se usar os gases citados acima, puros ou misturados, para conferir a correta proteção e propriedades desejadas para o cordão de solda. Misturas ternárias (três gases diferentes) podem ser utilizadas combinando as características dos diferentes tipos de gases.

2.4.2 Metal de adição

A norma AWS agrupa os metais de adição em função da composição química do metal depositado ou do consumível e do processo de soldagem. A especificação indica os requisitos para os consumíveis de acordo com o seu emprego.

Para que um consumível enquadre-se em uma especificação AWS, estes devem atender os requisitos específicos, tais como:

- propriedades mecânicas do metal depositado;
- composição química do metal depositado;
- sanidade do metal depositado, verificado por meio de exame radiográfico.

A classificação AWS refere-se a um metal de adição fornecendo valores aproximados de propriedades mecânicas, composição química e algumas características particulares do

mesmo. A classificação apresenta uma maneira lógica de designar um consumível. Em aplicações de soldagem com robô os consumíveis mais freqüentemente utilizados são:

- A5.18 - metal de adição de aços ao carbono para soldagem com proteção gasosa;
- A5.9 - metal de adição de aços inoxidáveis para soldagem com proteção gasosa;
- A5.28 - metal de adição de aços baixo liga para soldagem com proteção gasosa;
- A5.20 - metal de adição de aços ao carbono para soldagem com eletrodo tubular;
- A5.22 - metal de adição de aços inoxidáveis para soldagem com eletrodo tubular;
- A5.29 - metal de adição de aços baixa liga para soldagem com eletrodo tubular.

2.5 Posição de soldagem

Também tratada como variável essencial, a posição de soldagem representa a orientação do cordão de solda no espaço. As características geométricas do cordão, a seleção do método de transferência metálica e a técnica de soldagem são diretamente influenciadas pela posição de soldagem.

Basicamente pode-se agrupar a posição de soldagem em quatro grandes grupos: plana, horizontal, vertical e sobre-cabeça.

2.5.1 Posição plana

Na posição plana, conforme FIG. 4, a junta soldada encontra-se em um plano aproximadamente horizontal e a soldagem é realizada no lado superior. Esta é a posição de soldagem preferencial e sempre que possível deve ser utilizada.

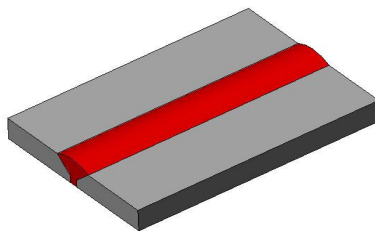


FIG. 4 - Posição plana

Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

2.5.2 Posição horizontal

Soldas em ângulo, é a posição na qual a soldagem é executada pelo lado superior entre um metal de base posicionado aproximadamente na horizontal e um outro posicionado aproximadamente na vertical. Soldas em chanfro, é a posição na qual o eixo da solda está num plano aproximadamente horizontal e a face da solda encontra-se em um plano aproximadamente vertical, conforme FIG. 5.

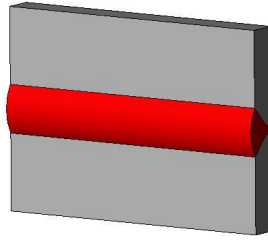


FIG. 5 - Posição horizontal
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

2.5.3 Posição vertical

Posição de soldagem no qual o eixo da solda é aproximadamente vertical. Na soldagem de tubos, é a posição da junta na qual a soldagem é executada com o tubo na posição horizontal. Conforme FIG. 6.

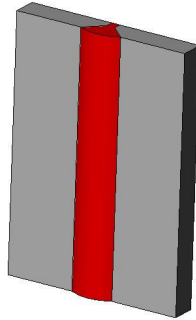


FIG. 6 - Posição vertical
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

2.5.4 Posição sobre-cabeça

Esta posição se caracteriza pela execução da soldagem realizada pelo lado inferior da junta. Representa a pior posição de soldagem e deve ser evitada sempre que possível. Conforme FIG. 7.

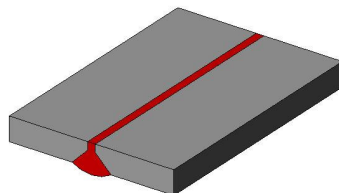


FIG. 7 - posição sobre-cabeça
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

2.6 Variáveis controladas durante o processo

Para a execução de soldas isentas de defeitos e com as características metalúrgicas mais próximas possíveis do metal de base, certas variáveis devem ser gerenciadas e controladas. Assim como no processo manual cada uma delas representa uma influência significativa no resultado final da junta soldada.

Este controle pode ser realizado somente pela fonte de soldagem, pela controladora do robô ou por ambos. As principais variáveis que normalmente controladas são:

- corrente;
- tensão;
- velocidade de soldagem;
- *stick-out* (distância entre a ponta do arame e o tubo de contato. FIG. 8);
- ângulo de trabalho (ângulo em relação à junta na posição horizontal, FIG. 9);
- ângulo de deslocamento (ângulo formado entre o eixo longitudinal da solda e a tocha, FIG. 9).

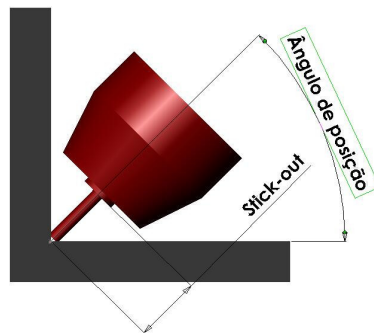


FIG. 8 - Stick-out e ângulo de trabalho
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

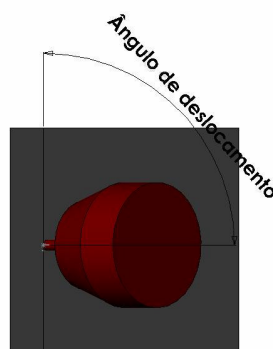


FIG. 9 - Ângulo de deslocamento
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

3 PROCEDIMENTO PARA PROGRAMAÇÃO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA

Por meio do método de programação on-line será realizada a programação do robô para a execução dos cordões de solda. Este método consiste em posicionar o robô no local desejado e posteriormente gravar o ponto. Tal procedimento é repetido para cada ponto do

caminho, o qual será percorrido sucessivamente, até completar todo o programa.

Antes da gravação do ponto, deve-se selecionar o tipo de movimento e velocidade desejados.

Além dos comandos de posicionamento e movimentação, os programas possuem comandos de controle de soldagem e interface com o meio externo.

Os comandos listados abaixo referem-se à linguagem de programação INFORM II utilizada pelo robô de soldagem da Motoman .

3.1 Comandos de posicionamento e movimentação

Para a realização do posicionamento e movimentação do robô na postura desejada, serão utilizados dois comandos. Um para movimentação rápida das juntas (MOVJ) e um de movimentação linear controlada (MOVL).

3.1.1 Movimento de junta MOVJ

Movimento de deslocamento de junta sem controle preciso de caminho percorrido. Este tipo de movimento serve para posicionar o robô em alta velocidade, sem que seja realizado trabalho durante este posicionamento.

Exemplo:

0001 MOVJ VJ=50

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

MOVJ – Movimento de junta.

VJ=50 – Velocidade de deslocamento em valor percentual da velocidade máxima.

3.1.2 Movimentação de linear MOVL

Movimento de deslocamento linear com controle preciso de caminho percorrido. Este comando serve para a execução da tarefa de soldagem em um caminho em linha reta com velocidade controlada.

Exemplo:

0001 MOVL V=40

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

MOVL – Movimento linear.

V=40 – Velocidade de deslocamento [cm/min].

3.2 COMANDOS DE CONTROLE DE SOLDAGEM

Estes comandos são desenvolvidos especificamente para a aplicação de soldagem pelo processo GMAW. Com eles é possível ativar o arco elétrico com parâmetros específicos (ARCON), desligar o arco elétrico com parâmetros específicos (ARCOF), ligar a movimentação de tecimento durante o deslocamento da tocha (WVON), desligar a movimentação de tecimento durante a movimentação da tocha (WVOF) e definição de pontos de referência para a execução de movimento de tecimento (REFP).

Os comandos ARCON, ARCOF e WVON podem ser programados utilizando arquivos de soldagem, os quais reúnem todos os parâmetros e informações relativas ao processo de soldagem. Após a explanação de cada um dos comandos citados inicialmente, os arquivos de soldagem serão abordados.

3.2.1 Comando de abertura de arco ARCON

Este comando tem a função de enviar um sinal para a fonte de soldagem, iniciando o arco elétrico.

Além da abertura do arco, este comando também é utilizado para definir as condições de soldagem como, por exemplo: corrente, tensão, velocidade de soldagem, tempo de pré-fluxo e método de tentativa de reabertura de arco.

Existem três modos de definição dos parâmetros de abertura de arco:

- especificação dos parâmetros com os itens adicionais;

Exemplo:

0001 ARCON AC=220 AVP=30 T=0.5 V=60 RETRY

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

ARCON – Liga o arco elétrico.

AC= 220 – Corrente de soldagem [A].

AVP =30 – Tensão de soldagem [V].

T=0.5 – Tempo de pré-fluxo [s].

V= 60 – Velocidade de soldagem em cm/min.

RETRY – Liga o método de tentativas de reabertura de arco.

- especificação dos parâmetros por meio de arquivo de solda;

Exemplo

0001 ARCON ASF# (1)

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

ARCON – Liga o arco elétrico.

ASF#(1) – Número do arquivo de soldagem (1 até 48).

- especificação dos parâmetros por meio da função ARCSET.

Exemplo:

0003 ARCSET AC=200 AVP=34

0004 ARCON

sendo que:

0003 – Número da linha do programa.

ARCSET – Define os parâmetros utilizados no comando ARCON.

AC=200 – Corrente de soldagem [A].

AVP = 34 – Tensão de soldagem [V].

ARCON – Liga o arco elétrico.

3.2.2 Comando de fechamento de arco ARCOF

Este comando tem a função de enviar um sinal para a fonte de soldagem, desligando o arco elétrico.

Além do desligamento do arco, este comando também é utilizado para definir as condições de finalização do cordão soldagem como, por exemplo: corrente e tensão para preenchimento de cratera, tempo de pós-fluxo e anti-stick (evita que o arame fique aderido à peça).

Existem três modos de definição dos parâmetros utilizados para fechamento do arco:

- especificação dos parâmetros com os itens adicionais;

Exemplo:

0001 ARCOF AC=160 AVP=30 T=0.5 ANTSK

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

ARCOF – Desliga o arco elétrico.

AC=200 – Corrente de preenchimento de cratera [A].

AVP =30 – Tensão de preenchimento de cratera [V].

T=0.5 – Tempo de pós-fluxo [s].

ANTSK – Liga o “anti-stick”, evitando que o arame fique grudado no fim do cordão.

- especificação dos parâmetros por meio de arquivo de solda;

Exemplo

0001 ARCOF AEF# (1)

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

ARCON – Desliga o arco elétrico.

ASF#(1) – Número do arquivo de desligamento de arco (1 até 12).

- especificação dos parâmetros por meio da função ARCSET.

Exemplo:

0003 ARCSET AC=200 AVP=34

0004 ARCOF

sendo que:

0003 – Número da linha do programa.

ARCSET – Define os parâmetros utilizados no comando ARCOF.

AC=200 – Corrente de preenchimento de cratera [A].

AVP = 34 – Tensão de preenchimento de cratera [V].

ARCOF – Desliga o arco elétrico.

3.2.3 Comando ativar o movimento de tecimento WVOF

Através deste comando é ativada a movimentação de oscilação durante a execução do cordão de solda.

Juntamente com o comando WVON é definido o número do arquivo, o qual contém todos os parâmetros relativos do tecimento. Como, por exemplo:

0001 WVON WEV#(1)

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

WVON – Liga a movimentação de tecimento.

WEV#(1) – Número do arquivo de tecimento.

3.2.4 Comando desativar o movimento de tecimento WVOF

Através deste comando é desativada a movimentação de oscilação no final da execução do cordão de solda. Como, por exemplo:

0001 WVOF

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

WVOF – Desliga a movimentação de tecimento.

3.2.5 Comando de definição de pontos de referência REFP

Ao ser executado um movimento de oscilação, o robô não tem a informação da real localização do cordão de solda, pois para a execução do mesmo são gravados apenas os pontos iniciais e finais do mesmo. Desta maneira não é possível definir em que direção deve ser feito o movimento, como mostrado na FIG. 8. Com a utilização de pontos de referência este problema é solucionado, e o usuário pode definir, se aplicável, a exata localização da parede vertical, horizontal e direção da junta soldada. Exemplo:

0001 REFP 1

0002 REFP 2

0003 REFP 3

sendo que:

0001 – Número da linha do programa.

REFP 1 – Ponto de referência que define qual é a direção da parede vertical da junta.

0002 – Número da linha do programa.

REFP 2 – Ponto de referência que define o lado da junta que será realizado o cordão.

0003 – Número da linha do programa.

REFP 3 – Ponto de referência que define a direção do movimento para soldagens circulares.

3.3 Arquivos de condição de soldagem

Como mencionado anteriormente, alguns comandos de controle de soldagem acompanham os parâmetros inerentes ao processo. Estes parâmetros são organizados em arquivos de condições de soldagem, permitindo desta maneira que o usuário possa salvar as condições de soldagem adequadas para uma dada situação.

Existem basicamente três arquivos de condição de soldagem: arquivo de condição de abertura de arco, arquivo de condição de fechamento de arco e arquivo de condições auxiliares.

3.3.1 Arquivo de condição de abertura de arco

O arquivo de abertura de arco permite a configuração de todos os parâmetros referentes ao início do cordão e execução propriamente dita do cordão e é composto por 11 diferentes parâmetros que serão abordados abaixo:

- **COND NO.** – número do arquivo de condição de abertura de arco;
- **COMMENT** – comentário sobre o arquivo (máximo de 32 caracteres);
- **CURRENT** – define a corrente de abertura de arco, (*START CONDITION*) e de soldagem (*MAIN CONDITION*);
- **VOLTAGE** – define a tensão de abertura de arco, (*START CONDITION*) e de soldagem (*MAIN CONDITION*);
- **ANALOG OUTPUT 3 CMD** – valor de referência para a fonte pela saída analógica 3;
- **ANALOG OUTPUT 4 CMD** – valor de referência para a fonte pela saída analógica 4;
- **ROBOT PAUSE TIME** – tempo em que o robô pausa no início da soldagem, usando as condições de abertura de arco, (*START CONDITION*);
- **ROBOT MOVE DISTANCE** – distância em que o robô se movimenta no início do cordão, usando as condições de abertura de arco, (*START CONDITION*);

- *SPEED* – define a velocidade de soldagem;
- *RETRY* – habilita a utilização da função de retentativas de abertura de arco;
- *MODE* – define como será realizada a função “*RETRY*”.

3.3.2 Arquivo de condição de fechamento de arco

O arquivo de fechamento de arco permite a configuração de todos os parâmetros referentes ao final do cordão, como o preenchimento de cratera, por exemplo, e é composto por 10 diferentes parâmetros que serão abordados abaixo:

- *COND NO.* – número do arquivo de condição de fechamento de arco (1-12);
- *COMMENT* – comentário sobre o arquivo (máximo de 32 caracteres);
- *CRATER CONDITION 1, CRATER CONDITION 2* – referente às condições de enchimento de cratera no final do cordão. Primeiramente é executada a primeira condição e após a segunda condição;
- *CURRENT* – define a corrente para o final do cordão;
- *VOLTAGE* – define a tensão no final do cordão;
- *ANALOG OUTPUT 3 CMD* – valor de referência para a fonte pela saída analógica 3;
- *ANALOG OUTPUT 4 CMD* – valor de referência para a fonte pela saída analógica 4;
- *ROBOT PAUSE TIME* – tempo em que o robô pausa no final da soldagem, usando as condições de enchimento da cratera, (*CRATER CONDITION*);
- *ANTI-STICK* – habilita a função de não colamento do arame no fim do cordão;
- *MONITORING* - tempo de permanência da função “anti-stick” ligada.

3.3.3 Arquivo de condição auxiliar

O arquivo de condição auxiliar permite a configuração de parâmetros que irão operar juntamente com os comandos *ARCON* e *ARCOF*. Este arquivo configura as funções de retentativas de abertura de arco (*RETRY*), reinício de um cordão (*RESTART*) e impedimento de colagem do arame no final do cordão de solda (*ANTI-STICK*).

A função *RETRY* é ativada, se no início do cordão de o arco elétrico não for aberto por existir um ponto de não condução no material, como por exemplo, ferrugem, tinta ou óleo, o robô irá executar um procedimento de retentativa de abertura de arco. Esta reabertura é definida pelos parâmetros abaixo:

- *COND NO.* – número de o arquivo auxiliar (1-3);
- *NO* – máximo número de tentativas para abertura de arco;
- *REPLAY DISTANCE* – define a distância em que o robô irá se mover para executar a retentativa de abertura de arco;
- *SPEED* – define a velocidade de movimentação na retentativa de abertura de arco;
- *CURRENT* – valor de corrente utilizada para a retentativa de abertura de arco;
- *VOLTAGE* – valor de tensão utilizada para a retentativa de abertura de arco.

Na função *RESTART*, quando o robô para a execução do cordão de solda, em função de uma eventual ausência do arco elétrico, um simples reinício de arco pode causar uma descontinuidade no cordão de solda. Com o uso da função de *RESTART* este inconveniente é solucionado.

Quando a função acima é executada o manipulador reinicia a execução do cordão sobrepondo em uma distância especificada pelo arquivo auxiliar. Este procedimento de início é definido pelos parâmetros abaixo:

- *NO* – máximo número de tentativas para reinício em um mesmo cordão de solda;
- *LAP DISTANCE* – define a distância de sobreposição para reinício do cordão de solda;
- *SPEED* – define a velocidade de movimentação para o reposicionamento;

- *CURRENT* – valor de corrente utilizada no reinício do cordão de solda;
- *VOLTAGE* – valor de tensão utilizada no reinício do cordão de solda;
- *RESTART METHOD* – define o método utilizado para o reinício do cordão. Existem três principais métodos:
- *ARC SHORTAGE* – método para reinício quando ocorrer falha no arco elétrico;
- *GAS SHORTAGE* - método para reinício quando ocorrer falha no gás de proteção;
- *WIRE SHORTAGE* - método para reinício quando ocorrer falha no arame consumível.

Na função *ANTI-STICK*, em certas ocasiões o arame consumível se adere ao final do cordão de solda ao completar o processo de soldagem. A função *ANTI-STICK* aumenta instantaneamente a corrente e a tensão, evitando que este problema ocorra.

Com a utilização dos parâmetros abaixo é possível configurar a função descrita acima:

- *NO* – máximo número de tentativas para descolamento do arame no cordão de solda;
- *CURRENT* – valor de corrente utilizada para descolamento;
- *VOLTAGE* – valor de tensão utilizada para descolamento;
- *TIME* – tempo de duração do processo de *ANTI-STICK*.

3.3.4 Arquivo de condição de costura

Através da utilização do arquivo de condição de costura é possível configurar os parâmetros relacionados ao movimento de costura executado pelo robô durante a execução do cordão de solda.

Este arquivo é referenciado por um sistema de coordenadas que são utilizadas para a orientação do robô com relação à exata localização do cordão, visto que, a única informação disponível para o robô é o ponto inicial e final do cordão, o que não é uma informação suficiente para determinar em que lado da junta será realizado o movimento de costura.

A FIG. 10 mostra o sistema de coordenadas utilizado, que é composto por uma direção da parede (*wall direction*), direção horizontal (*horizontal direction*) e a direção de avanço (*advance direction*).

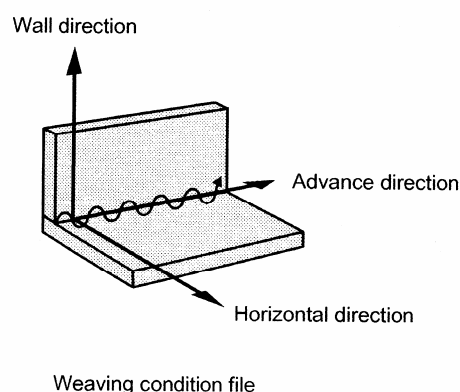


FIG. 10 - Sistema de coordenadas do movimento de costura
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

Como explicado anteriormente o comando REFP permite a definição das direções apresentadas acima. Deste modo a direção da parede representará a direção do eixo Z do robô, a direção horizontal representará a direção de aproximação (*approach point*) e a direção de avanço representará a direção de progressão da soldagem, como mostrado na

FIG. 11.

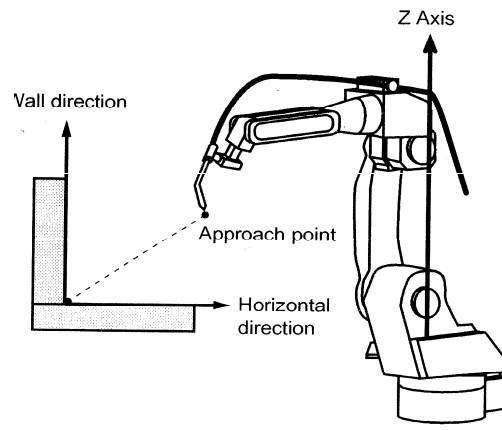


FIG. 11 - Referências de direção em relação ao robô
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

	DATA	EDIT	DISPLAY	UTILITY
	WEAVING CONDITION			R1
①	COND NO.		1	
②	MODE		SINGLE	
③	SMOOTH		ON	
④	SPEED TYPE		FREQUENCY	
⑤	FREQUENCY		3.5 Hz	
⑥	<PATTERN>			
	AMPLITUDE		2.000 mm	
	VERTICAL		10.000 mm	
	HORIZONTAL		10.000 mm	
	ANGLE		45.00 deg.	
	TRAVEL ANGLE		0.00 deg.	
⑦	<TIMER MODE>			
	POINT1		WEAV STOP	
	POINT2		WEAV STOP	
	POINT3		WEAV STOP	
	POINT4		WEAV STOP	
⑧	<MOVING TIME>			
	SECTION1		0.1 sec	
	SECTION2		0.1 sec	
	SECTION3		0.1 sec	
	SECTION4		0.1 sec	
⑨	<STOP TIMER>			
	POINT1		0.0 sec	
	POINT2		0.0 sec	
	POINT3		0.0 sec	
	POINT4		0.0 sec	
⑩	<HOVER WEAVING COND.>			
	SET		OFF	
	TIMER		0.0 sec	
	INPUT SIGNAL		IN#000	

FIG. 12 - Arquivo de condição de costura
 Fonte: Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

A especificação dos parâmetros utilizados no movimento de tecimento é realizada através do preenchimento de um arquivo como representa a FIG. 12.

O arquivo de condição de costura é composto por 10 campos de informações que serão explicados:

- *WEAVING COND. NO.* (1-16) - define o número do arquivo de condição de costura;
- *MODE* - Neste parâmetro é definido qual é o tipo do movimento de costura. Este parâmetro em particular é o alvo principal deste trabalho de conclusão de curso, pois é

ele que tem a função de definir o tipo de movimento de tecimento em um cordão de solda. O robô que será utilizado neste trabalho oferece 3 tipos de movimentação de tecimento, simples, “L” e triangular. Cada um deles apresenta parâmetros próprios que definem o movimento. Abaixo será descrito cada um dos tipos de movimentação e explicado os parâmetros relativos a cada um deles:

- Tecimento simples: neste tipo de oscilação a movimentação é realizada com um movimento simples perpendicular ao eixo longitudinal do cordão, conforme FIG. 13;

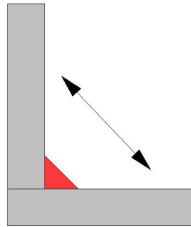


FIG. 13 - Tecimento simples

Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- Tecimento em triângulo: neste tipo de oscilação a movimentação é realizada com um movimento triangular perpendicular ao eixo longitudinal do cordão, conforme FIG. 14.

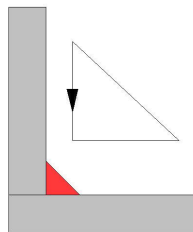


FIG. 14 - Tecimento em triângulo

Fonte: Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- Tecimento em L: neste tipo de oscilação a movimentação é realizada com um movimento em “L” perpendicular ao eixo longitudinal do cordão.

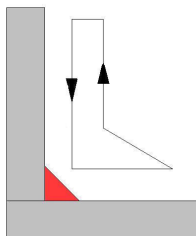


FIG. 15 - Tecimento em L

Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- *SMOOTH* - liga ou desliga a suavização do movimento com o objetivo de reduzir paradas bruscas nos vértices da oscilação, o que pode ocasionar um desgaste excessivo no sistema mecânico do manipulador (FIG. 16);

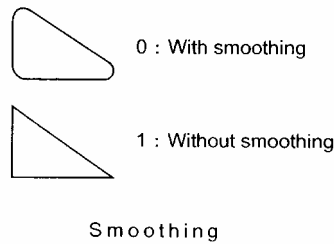


FIG. 16 - Suavização de movimento
 Fonte: Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- **SPEED TYPE** - especifica como/qual será o modo de velocidade da oscilação. A velocidade do movimento de oscilação pode ser configurada de duas maneiras diferentes. Por frequência, (*frequency*), a oscilação irá realizar um número de oscilações por segundo. Pelo modo de tempo de movimento, (*moving time*), o usuário define o tempo de deslocamento de cada seção da oscilação;
- **FREQUENCY** - especifica quantas oscilações por segundo serão realizadas durante a execução da soldagem. O valor máximo especificado depende do valor da amplitude da oscilação, como mostrado na FIG. 17;

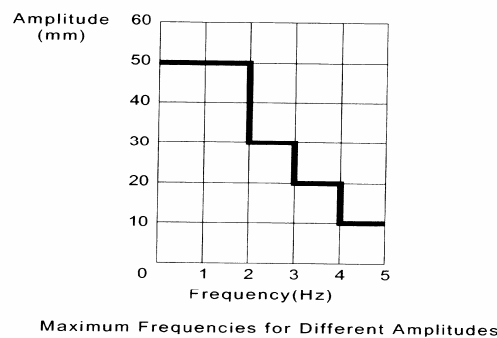


FIG. 17 - Valor de amplitude em função da frequência
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- **PATTERN** - define os parâmetros dimensionais da movimentação de costura. Este parâmetro é composto por 5 informações:
- Amplitude: especifica o tamanho da oscilação para o movimento simples, conforme FIG. 18.

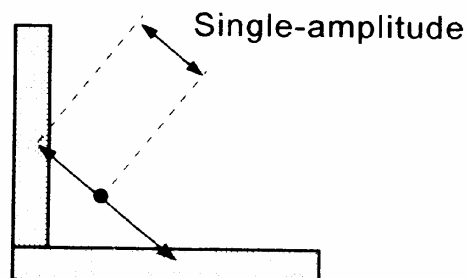


FIG. 18 - Amplitude
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- Vertical, horizontal: define o tamanho dos catetos do triângulo ou o tamanho do "L" FIG.19;

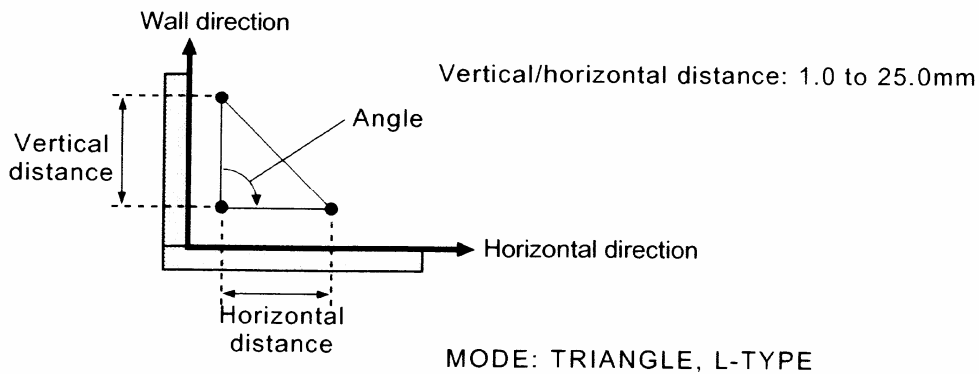


FIG. 19 - Dimensão vertical e horizontal
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- ângulo: especifica o ângulo de oscilação. No modo simples o ângulo será a metade do ângulo da junta. No modo triângulo e "L" será o valor da junta que será soldada FIG. 20.

- ANGLE

Specifies the oscillation angle.

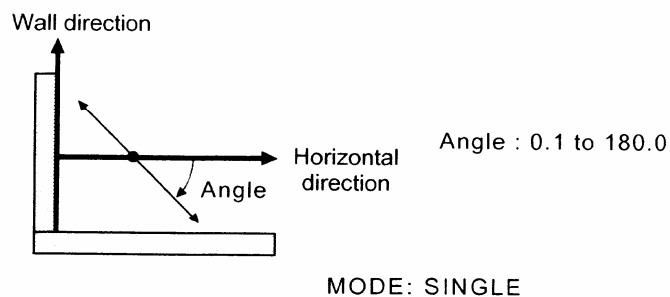


FIG. 20 - Ângulo de oscilação
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- travel ângulo: define o angulo de oscilação em relação ao movimento FIG.21;

- TRAVEL ANGLE

Specifies the oscillation travel angle.

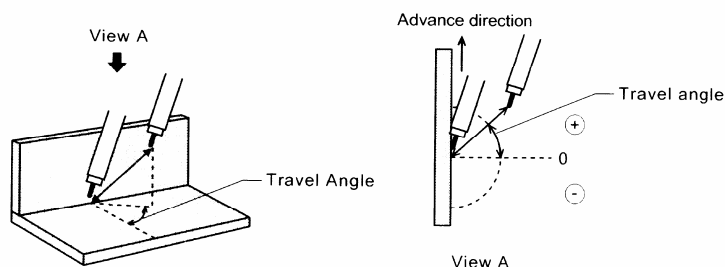


FIG. 21 - Ângulo de trajeto
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- *TIMER MODE* - durante a execução da oscilação o usuário pode definir se o robô irá efetuar a parada da oscilação, (*weav stop*), ou a parada do movimento, (*robot stop*), no final de cada movimento;

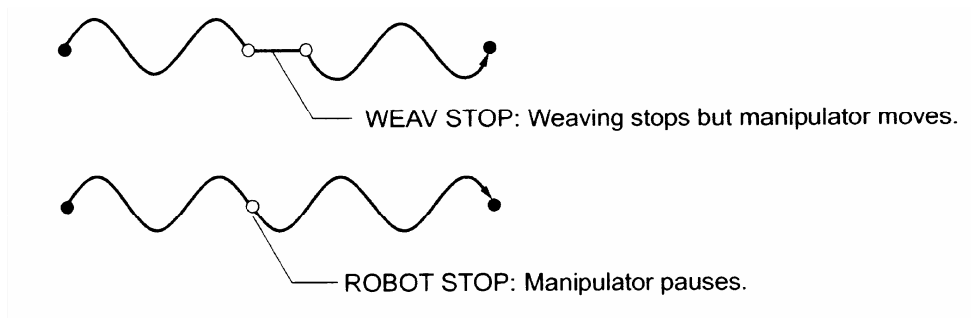


FIG. 22 - Tipo de parada
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- *MOVING TIME* - como mostrado na figura abaixo, cada tipo de movimento é dividido em seções. Especifica o tempo de deslocamento de cada seção, conforme FIG. 23;

⑦TIMER (MODE)

As shown below, a single weaving cycle is divided into three or four sections. A timer mode can be specified for each section.

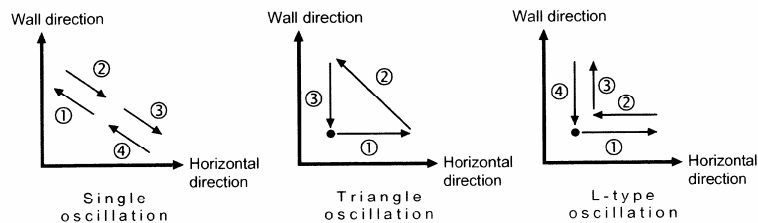


FIG. 23 - Tempo de movimento em cada seção
 Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

- *STOP TIMER* - especifica o tempo de parada em cada ponto final da seção do movimento;
- *HOVER WEAVING COND.* - utilizado para condições auxiliares de movimentação.

3.4 Exemplos

3.4.1 Exemplo de programa utilizado para soldagem com costura

```
0000 NOP
0001 MOVJ VJ=50
0002 MOVJ VJ=50
0003 ARCON ASF #(1)
0004 WVON WEV#(1)
0005 MOVL
0006 ARCOF AEF #(1)
0007 WVOFF
0008 MOVJ VJ=50
0009 END
```

3.4.2 Exemplo de programa utilizado para soldagem sem costura

```
0000 NOP
0001 MOVJ VJ=50
0002 MOVJ VJ=50
0003 ARCON ASF #(1)
0004 MOVL
```

0005 ARCOF AEF #(1)
0006 MOVJ VJ=50
0007 END

4 EQUIPAMENTOS

Um sistema de soldagem robotizada é composto basicamente por quatro sub-sistemas interligados: robô para soldagem, equipamento de soldagem, dispositivos para posicionamento e fixação e por fim, sistema de segurança.

4.1 Robô para soldagem

Além das características citadas anteriormente, o robô aplicado para a soldagem preferencialmente deve ser dotado de um software específico para o processo em questão. Este software muitas vezes é oferecido pelo fabricante como um opcional e possui funções específicas para a execução da soldagem, tais como: controle de abertura, manutenção e fechamento do arco elétrico, pré-setagem de parâmetros do processo, calibração da fonte de soldagem, movimentos de tecimento e gerenciamento de arquivos de condições de soldagem.



FIG. 24 - Robô industrial utilizado em soldagem robotizada
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

Certas aplicações de soldagem exigem o uso de alta frequência, logo o robô deve ter isolamento suficiente para que o ruído gerado pela fonte não interfira no sistema de controle do mesmo.

4.2 EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM

Conforme o processo de soldagem empregado, existe variação no equipamento de soldagem utilizado. Em um processo de soldagem GMAW os equipamentos utilizados são: fonte, alimentador de arame, tocha e sistema de distribuição do gás de proteção.

4.2.1 Fonte

Embora uma fonte de soldagem de um processo semi-automático possa ser utilizada em um processo automático, a utilização de fontes específicas para aplicações com robôs apresenta inúmeras vantagens e maior facilidade para a regulagem dos parâmetros de soldagem.

Em uma fonte de soldagem convencional para um processo GMAW, os parâmetros de controle são a tensão e a velocidade de alimentação do arame, que, por sua vez, define o valor da corrente. Estas regulagens são realizadas por meio de chaves seletoras ou potenciômetros, impedindo a execução de peças com cordões de solda que exijam regulagens durante o modo de execução.

A fonte de soldagem aplicada para processos de soldagem robotizada tem características e recursos desenvolvidos especialmente para atender os requisitos do processo. Através de comunicação digital e ou analógica com a controladora do robô é possível definir a regulagem dos parâmetros utilizados durante a soldagem, como por exemplo, a corrente de soldagem, a tensão de soldagem ou a potência de soldagem.



FIG. 25 - Fonte de soldagem
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

4.2.2 Alimentador de arame

Diferentemente dos alimentadores de arame utilizados em um processo GMAW semi-automático, os alimentadores de arame utilizados com robôs possuem um sistema de medição de velocidade de alimentação incorporado. O sistema de medição permite que a fonte mantenha a corrente de soldagem previamente definida.

4.2.3 Tocha

A tocha é o elemento responsável pela condução da corrente elétrica, do arame consumível e do gás de proteção. Para aplicações em soldagem robotizada, é muito importante que o comprimento da tocha seja proporcional ao tamanho do robô utilizado. Um comprimento demasiadamente grande da tocha oferece riscos da mesma se prender em dispositivos e impede a passagem do arame com maior facilidade pelo condúite. Um comprimento demasiadamente pequeno impede que o robô execute movimentos em todo o seu envelope, limitando a sua movimentação.

Dependendo do grau de utilização e da energia de soldagem utilizada é necessário que a tocha seja refrigerada. Um processo automático normalmente tem ciclos de trabalho de 24 horas, o que exige uma tocha que suporte esta condição.



FIG. 26 - Tocha utilizada em soldagem robotizada
Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

4.2.4 Sistema de distribuição do gás de proteção

O gás de proteção utilizado em soldagem robotizada pode ser fornecido em cilindros individuais para cada célula ou por meio de um sistema central que permite maior autonomia, evitando paradas de produção. Outra vantagem da utilização de um sistema central é a possibilidade de realizar a mistura dos gases com composições variáveis em uma faixa de variação maior que a composição química oferecida.

Exemplos de células completas para soldagem robotizada

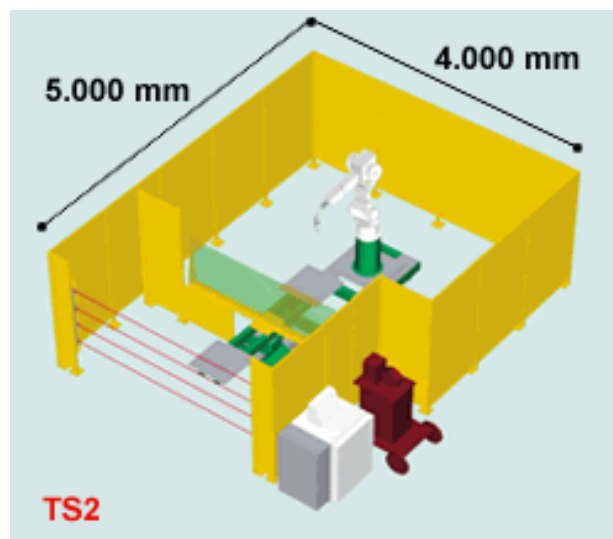


FIG.27 - Montagem básica de célula de soldagem robotizada
Fonte: Tiesserobot

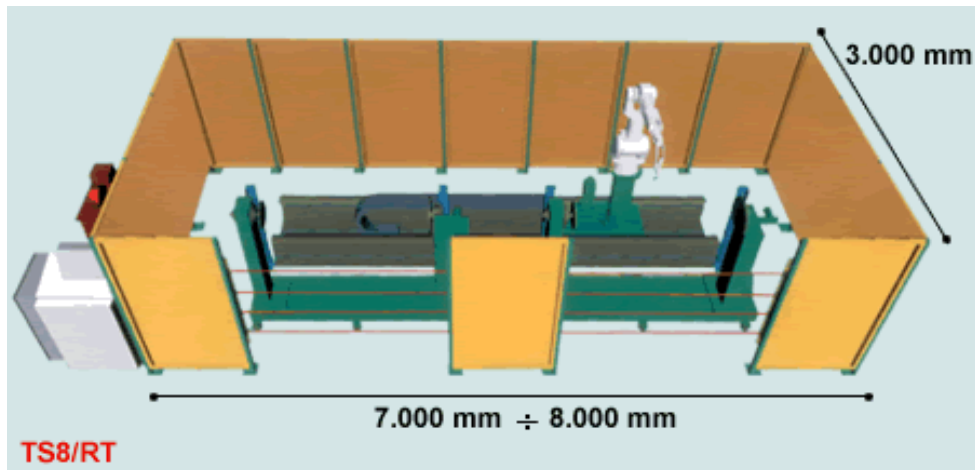


FIG. 28 - Célula de soldagem com deslocamento do manipulador para peças de grande porte
Fonte: Tiesserobot

5 PLANTAS INDUSTRIAIS

Atualmente praticamente todas as montadoras automotivas utilizam o processo de soldagem robotizada. Empresas de maior porte na indústria metal mecânica também possuem células de soldagem robotizada, no entanto devido a significativa redução nos custos de aquisição de um sistema de soldagem robotizada, empresas de porte médio e pequeno também estão utilizando esta tecnologia.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização da tecnologia de soldagem robotizada exige uma nova filosofia de trabalho dentro da empresa, pois, novos equipamentos e técnicas anteriormente muitas vezes desconhecidas são utilizadas pela primeira vez.

Os principais elementos utilizados em soldagem robotizada como fonte de soldagem, tocha de soldagem, dispositivo de fixação e o próprio robô.

O sistema de programação utilizado é através do método on-line e o que permite a introdução direta de comandos específicos de controle de movimentação e parâmetros de soldagem.

Atualmente pode-se contar com um grande grupo de fornecedores de equipamentos que podem auxiliar na escolha correta dos equipamentos e periféricos utilizados.

O estudo de viabilidade técnica e econômica deve ser realizado anteriormente de qualquer aquisição de equipamento, pois nesta etapa que serão detectadas as reais necessidades exigidas pelo produto que será fabricado. Este tipo de estudo pode ser realizado pelo Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI do Rio Grande do Sul.

Um dos principais aspectos a ser levado em consideração na implantação de um processo de soldagem robotizada é a perfeita organização e interação nos processos anteriores ao da soldagem que são o corte e a conformação das peças, pois são nessas etapas que as tolerâncias de fabricação devem ser rigorosas e obedecidas para que se obtenha uma repetibilidade do processo.

REFERÊNCIAS

AWS. **Welding handbook**: section 5 application of welding. 16. ed. Miami: American Weld Society, 1973.

AWS. **Structural welding code-steel ANSI /AWS D1.1**. Miami, 1996.

CHAPLIN, Jack W. **Instrumentation and automation for manufacturing**. New York: Delmar, 1992.

FBTS. **Apostila técnica**: curso de inspetor de soldagem. Rio de Janeiro, 2003. 220p.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e técnicas conexas**: processos. Porto Alegre: Ceteng, 1996.

MIRANDA, R. M.; LOPES, E. M. Dias. **Metalurgia da soldadura**. Lisboa: ISQ, s.d. 299p.

MOTOMAN. **Operator's manual For Arc Welding**. Ohio, 2000.

ROMANO, Vitor Ferreira, ed. **Robótica industrial**: aplicação na indústria de manufatura e de processos. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 256p.

TIESSEROBOT. Disponível em: <<http://www.tiesserobot.it>>. Acesso em: 21 jun. 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 – Fornecedores

Principais fornecedores de robôs industriais:

- Kawasaki
- Motoman
- ABB
- Fanuc
- Kuka
- Cloos
- Staubli
- Mitsubishi
- Comau
- Reis
- Nachi

Principais fornecedores de fontes de solda para soldagem robotizada:

- Miller Eletric
- Fronius
- Lincoln Eletric
- Cebora
- Merkle
- Cloos
- Panasonic
- Kobelko
- Esab

Principais fornecedores de tochas para soldagem robotizada:

- Abicor Binzel
- Summig
- Fronius
- Miller Eletric

- Lincoln Eletric
- TBI
- Tregaskiss

Principais fornecedores de soluções completas em soldagem robotizada:

- Tiesse Robot Spa
- Motoman do Brasil

ANEXO 2 – Instituições e associações

O Brasil possui uma organização chamada *Manufacturing Automation Network* (MANET) a qual é composta por um grupo de entidades de ensino, contando com diversos especialistas na área de soldagem robotizada.

Outra associação interessante é a *Robot Industry Association* (RIA) composta por um grupo de empresas fabricante e fornecedoras de tecnologias paliçadas à robótica e soldagem robotizada.

ANEXO 3 – Sites interessantes

<http://www.roboticsonline.com>
<http://www.tiesserobot.it>
<http://robotics.dem.uc.pt/>
<http://www.manet.org.br/manet/livrorrobotica/index.jsp>
<http://www.demec.ufmg.br/Grupos/Solda>

Nome do técnico responsável

Fábio Tiburi

Nome da Instituição do SBRT responsável

SENAI-RS. Centro Tecnológico de Mecatrônica SENAI

Data de finalização

21 jun. 2006