

Viabilidade da Substituição da Soldagem Manual por robótica

Thiago Loretti - thi_loretti@hotmail.com

Professor Luiz Gimenes – Orientador gimenes@infosolda.com.br

Fatec-SP Dezembro/2013

1 INTRODUÇÃO

As indústrias de autopeças em franco crescimento no Brasil devido à quantidade de veículos vendidos e modelos que se renovam constantemente e com a concorrência acirrada das montadoras chinesas e coreanas, vem impulsionando a renovação do parque fabril das empresas metalúrgicas.

Para assegurar o sucesso neste caso, as empresas precisam atualizar seus equipamentos, sendo o momento oportuno para a busca da robotização que é o processo que viabiliza a produtividade, qualidade e segurança do trabalho, principalmente quando se trata do processo de soldagem a arco elétrico que utilizam gases inertes (GMAW).

A utilização de robôs neste processo vem crescendo a cada mês no Brasil, situação que favorece a atual conjuntura econômica. Desta maneira os fabricantes de robôs estão divulgando suas marcas para as empresas do parque automotivo e de autopeças.

Para que as empresas possam usufruir destes equipamentos alguns cuidados e conhecimentos são necessários, daí a pertinência deste trabalho que busca orientar o leitor para as primícias de como iniciar os pensamentos e ações necessárias para etapas da implantação da robótica no processo de soldagem.

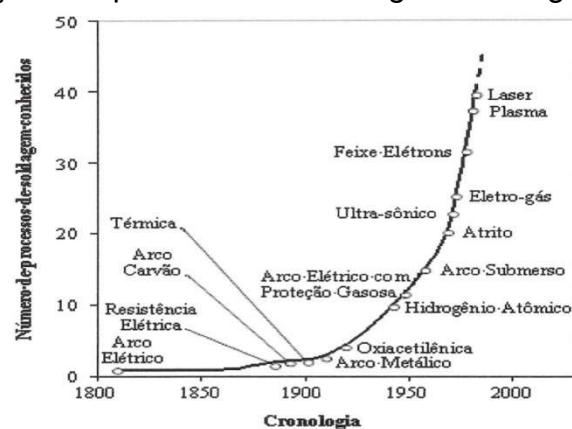
2 SOLDAGEM

Segundo Silva (1997) denomina-se soldagem ao processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo.

Os primeiros relatos de processos de soldagem se dão no Egito por volta de 1400 a.C., nos quais o processo consistia no amolecimento e compressão de metais, onde as peças eram aquecidas até adquirir certa plasticidade, e então unidas por pressão ou martelamento. Esta categoria de solda durou até meados do século XIX, quando surgiu um novo sistema, em que a chama de hidrogênio substituía o fogo do ferreiro como fonte de calor. Tal processo, que recebeu na fundição o nome de caldeamento por fundição, consistia em acrescentar ferro fundido num molde, com um funil colocado no lugar onde o metal em fusão não tinha fluído, ou numa quebra que houvesse ocorrido, para depois se bloquear a entrada do funil, deixando-o esfriar no molde. Em 1887, em Leningrado, realizaram-se soldas em ferro fundido, ferro batido e aço, por meio de arco elétrico produzido por eletrodo de carvão, em conexão com o pólo positivo. Experiências posteriores conseguiram resultados positivos e embora o processo tivesse despertado interesse prosseguiu em ritmo lento.

O processo de soldagem teve seu grande impulso durante a II Guerra Mundial, devido à fabricação de navios e aviões. A figura 1 mostra a evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.

Figura 1- Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.

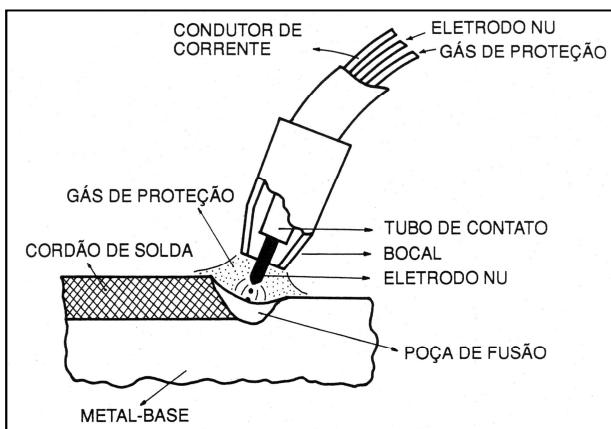


Fonte: Coleção tecnologia Senai,(SILVA, 1997 p.14).

A principal característica dos processos MIG / MAG é a proteção gasosa que envolve a atmosfera adjacente à poça de fusão¹ e que é proporcionada por gases inertes ou misturas deles, no caso do processo MIG, e por gases ativos ou misturas de gases ativos e inertes, no caso do processo MAG, figura 2. Esses processos são utilizados para unir peças metálicas pelo aquecimento e pela fusão delas a partir de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu e a peça de trabalho, figuras 3 e 4. Estes processos utilizam como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo nu consumível, alimentado continuamente, e a peça a soldar.

O processo MIG é adequado à soldagem de aços-carbono, aço inoxidáveis alumínio e ligas, magnésio e ligas e cobre e ligas. O processo MAG é utilizado na soldagem de aços carbono.

Figura 2- Processo de soldagem MIG / MAG.



Fonte: Apostila Processos Usuais de Soldagem Fatec SP

Este processo exige que o soldador seja qualificado ou seja, realize treinamentos específicos teóricos e também treinamentos práticos para adquirir habilidades de coordenação motora devido as variáveis formas geométricas que os produtos/serviços irão exigir deste profissional.

A forma de controle destes equipamentos de solda, não são estáveis, devido a variação que o homem possui em sua movimentação, não tendo uma repetitividade precisa, assim cada serviço executado poderá resultar uma variação no resultado final da qualidade. Outras consequências de soldagem realizadas pelo homem são:

- Possui baixa produtividade devido a fadiga humana causada pelos movimentos repetitivos.
- Excesso de repingo resultante da instabilidade do processo
- Alto consumo de insumos (arame de solda e gases de proteção). Alto número de inspeções de processo para tentar assegurar a qualidade e ergonomia comprometida.

Em qualquer operação de solda com arco elétrico, (Figura 3) com utilização de gases de proteção, devem ser tomados cuidados com objetivo de evitar choques elétricos, queimaduras, exposição a radiação e aspiração dos gases e fumos metálicos. Montagem das instalações de formas adequadas, utilização de equipamentos de proteção individual (luvas e avental de raspa de couro, touca, sapatos de segurança e máscara).

A instalação de sistema de exaustão é recomendada com o objetivo de minimizar os riscos envolvidos neste tipo de processo de soldagem manual. Também tem que ser realizados exames periódicos específicos para monitorar a saúde deste profissional (FANTAZZINI 1997).

Figura 3- Processo de soldagem semi-automático.



Fonte: Budai indústria metalúrgica

3 ROBÔ INDUSTRIAL

A definição técnica de robô é ainda tanto polêmica. Diferentes versões podem ser encontradas entre os órgãos especializados no assunto, tais como aJIRA (Japan Industrial RobotAssociation), o RIA (RobotInstituteofAmerica) ou AFNOR (associação Francesa de Normalização). O grau de abrangência dessas definições é variável, de modo que diferentes equipamentos recebem, muitas vezes, a mesma nomeação de “robô”, o que ocasiona sérias discrepâncias.

No presente trabalho, adotou-se a definição da AFNOR, aprovada em agosto de 1983:

Um robô industrial é um manipulador automático com servosistema de posicionamento, reprogramável, polivalente, capaz de posicionar e orientar materiais e peças, e que utiliza dispositivos especiais com movimentos variados e programados para execução de tarefas variadas.

Cabe diferenciar o robô industrial das máquinas automáticas, preparadas para realizar um conjunto de operações previamente estabelecidas e que dificilmente são reprogramadas para realização de outras operações ou processos, a não ser que sofram modificações importantes.

Atualmente a exigência de produção cada vez mais veloz com alta qualidade e baixos custos fazem 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 mecânico 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, repetitividade, segurança e adequação de custo.

Segundo a Robotic Industries Association (RIA), robô industrial é definido como um "manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas" (RIVIN, 1988).

Segundo Romano(2002) uma definição mais completa é apresentada pela norma ISO (International Organization for Standardization) 10218, como sendo uma

máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, *multifuncional*, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial.

Reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas, já fornece uma idéia das variadas aplicações que podem ser realizadas com este equipamento.

As características operacionais de um robô industrial dependem essencialmente de sua configuração, das indicações de desempenho indicadas nos catálogos dos fabricantes e das tarefas planejadas a serem realizadas.

Para cada tarefa, geralmente faz-se uso de diferentes dispositivos, os quais são selecionados especificamente para promover a correta interação entre a extremidade terminal do manipulador mecânico e o objeto a ser trabalhado.

Os principais fabricantes de robôs industriais oferecem aos usuários diferentes configurações de manipuladores. Entretanto, alguns fabricantes se especializaram em produzir determinados tipos de robôs para aplicações específicas, obtendo desta forma melhores desempenhos operacionais.

Dentre as mais importantes empresas que fabricam robôs industriais encontram-se: ABB Robotics AB, Adept Technologies Inc., Brown & Shape, COMAU SPA, FANUC LTD, Kawasaki Robotics Inc., KUKA RoboterGmbH, Motoman Inc., Stäubli AG e Sony Co.

Figura 4- Robô para soldagem GMAW



Fonte: www.motoman.com

Figura 5- Robô para soldagem RW



Fonte: www.kuka-roboter.com.br/

Figura 6- Robô manipulador



Fonte: www.fanucrobotics.com/

Uma das aplicações mais comuns de robôs industriais é a soldagem, aproximadamente 25% dos robôs são empregados em diferentes aplicações de soldagem. A montagem de componentes corresponde a cerca de 33% das aplicações de robôs. Muitos destes são empregados pelas indústrias automobilísticas e de eletrônica. Processos de empacotamento e paletização ainda permanecem com pequenos índices de aplicação com robôs, contribuindo com 2,8% do número total. Esta área de aplicação deve crescer em função do aumento da capacidade de manipulação dos robôs.

A indústria alimentícia é uma área que deve contribuir consideravelmente no futuro com a aplicação de robôs industriais.

A maioria das atividades relacionadas a robôs industriais em processos de produção envolvem operações de movimentação, processamento e controle de qualidade. A seguir são apresentadas algumas destas atividades conforme informação da empresa MOTOMAN fabricante de robô.

- *Movimentação:*

- movimentação de peças entre posições definidas;
- transporte de peças entre esteira transportadora e máquinas operatrizes;
- carregamento e descarregamento de peças em máquinas operatrizes;
- carregamento e descarregamento de peças em magazines;
- paletização.

- *Processamento:*

- soldagem por resistência elétrica (pontos) ou a arco (contínua);
- fixação de circuitos integrados em placas;
- pintura e envernizado de superfícies;
- montagem de peças;
- acabamento superficial;
- limpeza através de jato d'água e abrasivos;
- corte através de processos por plasma, laser, oxi-corte ou jato d'água;
- fixação de partes com parafusos, deposição de cola, rebites;
- empacotamento.

- *Controle de qualidade:*

- inspeção por visão;
- verificação dimensional de peças através de sensores.

A empresa ABB Robotics é líder no mercado brasileiro, a evolução do número de robôs industriais de seis eixos no Brasil vem crescendo a cada ano.

A população mundial instalada de robôs de seis eixos é estimada em 790.000 unidades (1999), sendo no Brasil em torno de 4500 unidades. Portanto, o Brasil contribui com aproximadamente 0,6% do número total de robôs industriais instalados no mundo.

As indústrias ligadas ao setor automobilístico, como montadoras e fornecedoras de autopeças são as maiores usuárias de robôs industriais no país. Cerca de 900 unidades (20% do total) foram empregadas em pequenas e médias indústrias.

A empresa ABB Robotics AB é a líder no mercado brasileiro com 33% das vendas. Na tabela 1 pode-se observar a distribuição de robôs industriais de seis eixos por aplicação industrial desta empresa no mercado brasileiro.

Tabela 1- Distribuição percentual de robôs ABB no Brasil.

Aplicação Industrial	Percentual
Soldagem por pontos	33%
Movimentação / paletização	25%
Soldagem por arco	18%
Pintura	10%
Outros (montagem, acabamento, corte por jato-d'água, oxi-corte)	14%

Fonte: Robótica Industrial, Romano, 2012, p.16

4 INOVAÇÃO

Com a incessante cobrança do mercado industrial e de uma exigência de resposta rápida, as organizações passam por uma atualização constante, fazendo-se necessário a renovação de seus sistemas industriais.

Um meio efetivo para a adoção dos princípios desta filosofia organizacional é criar um procedimento administrativo. Neste sentido, uma alternativa seria a constante ideia de investimento de treinamento corporativo.

Segundo Tremonti (1999), Paul Romer é um estudioso que acredita na capacidade direta entre crescimento econômico e na inovação tecnológica.

Contudo, não existe uma perspectiva relacionada diretamente a evolução empresarial. O investimento em treinamento para os colaboradores é de grande importância, pelo fato de estar ligado diretamente a evolução das tecnologias e evolução industrial.

A proposta de Tremonti (1999) chama a atenção para as possíveis consequências da implantação da robótica no processo de soldagem MAG, devido a necessidade de controles das variáveis do processo.

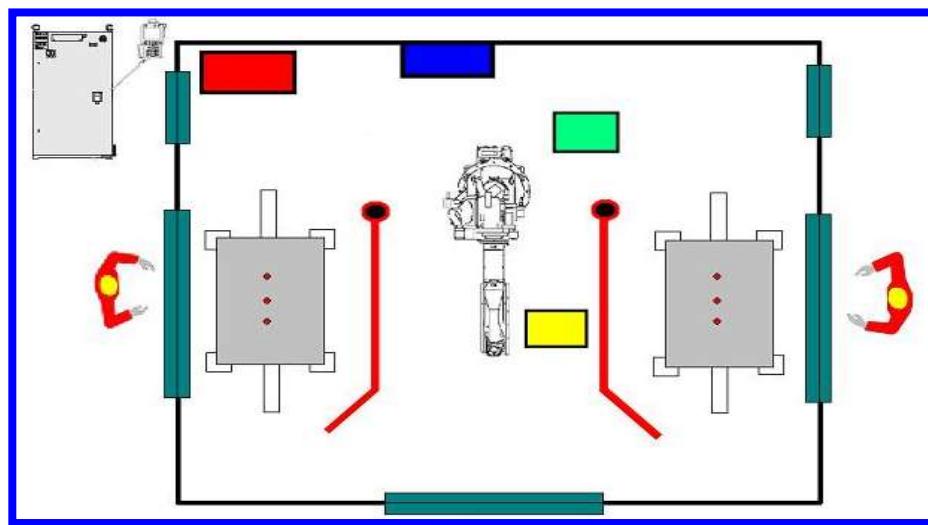
Assim sendo, faz-se necessário estabelecer quais são os indicadores destes controles e estabelecer metas, acompanhamentos individuais e ajustes de valores quando necessário dos parâmetros do processo de solda.

O emprego da robótica tem força de alavancar a produtividade e qualidade de uma indústria, para esta evolução investimentos e adequações de processos terão que estar nos objetivos da empresa interessada em robotizar.

Desse modo o planejamento de investimento, juntamente com o planejamento de treinamento interno ou externo, terá que contemplar a nova filosofia de investimento e acompanhamento da inovação e evolução tecnológica.

A figura 4 mostra o processo de soldagem robotizado, conceito de duas mesas de processo.

Figura 7- Processo de soldagem Robotizado.



Fonte: Nyaço – Beneficiamento de Metais.

5 SOLDAGEM ROBOTIZADA

Em busca de maior competitividade, assim como produtividade e redução de custos e mão de obra, observa-se que vem crescendo a automatização de processos. A imagem da robotização ser muito cara e de difícil acesso, limitadas somente para empresas de grande porte, vem sendo quebrada. Atualmente é frequente encontrar em visitas a empresas de pequeno porte, sistemas de soldagem robotizados.

Define-se a soldagem robotizada uma forma específica de soldagem automática feita com equipamento (robô, manipulador, etc.), o qual executa

operações básicas de soldagem, após programação, sem ajustes ou controle por meio do operador.

O primeiro processo robotizado que foi introduzido ao mercado automobilístico foi por Resistência elétrica por pontos (RSW), na década de 70, trazendo aspectos muito positivos como uma nova concepção de linha de produção, pois a produtividade e precisão no processo de soldagem que antes era realizada por mão de obra humana foi significativamente alterada.

A seguir veremos algumas etapas para implantação da robótica no processo de soldagem MAG.

Recomenda-se levar em consideração uma análise de investimento para saber-se em quanto tempo o projeto deve-se amortizar, ou seja, em quanto tempo o mesmo produzirá valor o suficiente para pagar o do investimento(Nyaço Beneficiamento de Metais Ltda).

Segundo o manual de segurança do trabalho da empresa Nyaço, avaliar a área e o espaço disponível para instalação do robô, pois, uma avaliação equivocada pode gerar transtornos de fluxo do processo e se o prédio tiver o pé-direito muito baixo não irá diluir os fumos gerados, ficando uma concentração excessiva no ar que será inalado pelo operador.

Avaliar a necessidade de trabalho com cilindros de gás com a mistura de argônio e dióxido de carbono em quantidades definidas pelo fornecedor dos gases e análise da qualidade do produto. Para altas demandas de produção deve-se cogitar a hipótese de se trabalhar com tanques dos gases onde o mesmo através de uma tubulação irá guiar os gases até o robô.

A empresa THHOR Engenharia Elétrica, sugere uma análise em relação ao suprimento de energia elétrica, verificar se as instalações possuem capacidade para atender a operação do robô e a fonte de solda.

Inicialmente, recomenda-se estipular um estoque mínimo de consumíveis tais como bicos, bocais, porta-bico, cabos-guias que serão usados durante o processo de soldagem.

A contratação de mão de obra para trabalhar com as montagens de peças a serem soldadas nas células robóticas vem a ser muito mais fácil, bem como a reposição da mão de obra, do que a contratação e reposição de um soldador manual, tanto pela diferença de salários (o salário de um soldador manual é bem

maior que o de um operador de robô) quanto pela especialização necessária. Ao passo que o soldador manual requer muito treinamento e perícia, o operador do robô precisa apenas ser familiarizado com informática e um treinamento básico e rápido sobre a sistemática de produção.

A programação de um robô para a realização da soldagem é relativamente simples e requer pouco treinamento. Para os robôs Motoman, Fanuc, Kuka e ABB, trata-se de linhas de comando onde é inserida a posição do robô naquele instante do programa, a velocidade, onde abrirá o arco (início da solda), onde fechará o arco (final da solda) e o nível de precisão do movimento (maior velocidade = menor precisão). Com poucos dias de treinamento, qualquer pessoa familiarizada com informática pode programar um robô. Uma vantagem é poder salvar os programas realizados, isso diminui muito o tempo de preparação, pois caso o robô tenha que realizar soldas diferentes, basta “chamar” o programa pelo controlador muito parecido com o método de abrir um programa em um computador.

Os métodos para controle da qualidade das peças soldadas por robô são basicamente os mesmos utilizados para soldas manuais. Alguns podem ser destrutivos tais como metalografias, ensaios de tração, impacto e outros de acordo com o grau de restrição ou não destrutivos, tais como líquido penetrante que avalia descontinuidades abertas para a superfície em qualquer metal, partículas magnéticas (que avalia descontinuidades abertas para a superfície ou não, mas somente em metais magnéticos), ultrassom e Raio-X que avaliam a condição interna da junta soldada (MANUAL DA QUALIDADE NYAÇO).

Um robô é muito mais produtivo que um soldador manual principalmente pelas perdas que o robô não possui, tais como fadiga, conversas, tempo parado para ir ao banheiro, etc. O Robô não pára, mas dependendo do número de postos de trabalho que o mesmo atende e dos tipos de solda que o mesmo irá fazer, é necessário um balanceamento de linha muito acirrado pois se um robô pára um certo tempo antes de atender outro posto de trabalho, isso gera improdutividade.

O Layout deve prever a menor movimentação possível dos operadores do robô, deve ter o menor tempo de espera possível quando em célula, deve ter pouco transporte de peças e atender todas as condições de segurança aplicáveis (NYAÇO Manual segurança).

Segundo levantamento de custos da empresa Nyaço, as células de soldagem robotizada possuem uma grande vantagem quando comparamos com a solda manual, principalmente na utilização de equipamentos de proteção individual, esses equipamentos de soldagem manual são pesados e quentes, tais como luvas, aventais, mangotes, perneiras, touca, calçado de segurança e máscara de soldagem, ao passo que para a operação de uma célula robótica é necessário apenas calçado de segurança, luvas e um óculos de proteção.

6 Método de cálculo para custo de soldagem

Como referência, utilizaremos a seguinte lista para verificação de siglas:

Definição de Símbolos Usados nas Equações de Custo

A = Área transversal de solda, mm².

C E = Custo de eletrodo (ou arame de enchimento), reais/kilo.

C F = Custo de fluxo, reais/kilo.

C G = Custo de gás protetor por volume de unidade, reais/metro³.

C L = Custo de mão de obra e despesas por metro linear de solda.

C M = Custo de materiais de soldagem e de artigo de consumo por metro linear de solda,

reais/metro.

C R = Custo de mão de obra e despesas gerais, reais/hora.

D = taxa de deposição, kilo/hora.

D E = eficiência de deposição, relação de peso de metal de solda depositado por eletrodo

consumido.

O F = Razão Operacional, razão do tempo produtivo pelo tempo gasto pelo soldador.

O H = Despesas gerais.

M = Taxa de fusão/hora do eletrodo, kilo/hora.

S = Velocidade do arame, ou “velocidade em comum”, metro/hora.

T = Tempo necessário por metro linear de solda, hora/metro.

T " = valor Aproximado de T, hora/metro.

V G = volume de gás de proteção necessário por metro linear de solda, metro³/metro.

W E = Peso de eletrodo (ou arame de enchimento) consumido por metro linear de solda, kilo/metro.

W E " = valor Aproximado de W E, kilo/metro.

W F = Peso de fluxo necessário por metro linear de solda, kilo/metro.

W W = Peso de metal de solda depositado por metro linear de solda, kilo/metro.

5.1 O método

O método proposto de cálculo dos custos relacionados nessa seção é simples e direto porque a informação básica exigida pode ser selecionada diretamente das tabelas de procedimento. A única outra informação exigida é o custo do eletrodo por kg, que é determinado após seu consumo; mão de obra despesas gerais e custo por hora, estabelecidos pelo sistema de contabilidade das empresas; é um fator de operação estimado. Os outros podem ser calculados por fórmulas simples.

Materiais: O custo do eletrodo consumido por metro de solda é encontrado pela multiplicação do peso do eletrodo em Kg consumido por metro linear (WE) e peso do eletrodo pelo custo do eletrodo em reais por Kg(CE).

Custo do eletrodo por metro de solda = (WE) (CE)

O custo do gás por metro linear de solda, é o volume do gás necessário por metro linear de solda (VG), multiplicado pelo custo do gás em reais por metro cúbico(CG).

Custo do gás por metro de solda = (VG) (CG)

O custo do material por metro de solda (CM), então iguala o custo de todos os consumíveis:

$$CM = (WE) (CE) + (VG) (CG)(1)$$

Mão de obra despesas gerais fator de operação : o custo da mão de obra somado a todos os custos, é estabelecido individualmente por cada empresa, que pode ser representado por (CR) em Reais por hora. O custo de mão de obra e despesas gerais por metro linear de solda (CL) então concluímos:

$$(CL) = (T) (CR)$$

(OF)

O denominador (O F) nesta equação é o fator de operação o qual necessita de explicação.

Tempo de arco aberto (T) é considerado somente enquanto o soldador está aplicando metal de solda. Enquanto se monta, posiciona-se e ponteia-se, o soldador está se "preparando" para união. Quando estiver removendo os dispositivos para se posicionar ou limpar a solda, ele está executando operações "necessárias" de acompanhamento de operação. Ao estar trocando eletrodo, movendo-se de um local a outro, ou tirando a hora do café, ele não está soldando.

As horas totais que ele trabalha sempre são maiores do que as horas que ele solda, e a relação das horas gastas soldando para as horas totais trabalhadas é conhecida como o fator de operação. Este fator é um dos fatores mais básicos para fazer avaliações corretas de custos e deve ser determinado com a maior precisão possível.

O fator operacional pode ser definido pela equação: $OF = \text{Tempo de Arco} / \text{tempo total}$ onde tempo total é tempo de arco mais o tempo que o soldador gastou em operações diferente de estar soldando, inclusive tempo gasto para propósitos pessoais. Desde que o tempo de arco é sempre dividido por um número maior, a relação sempre é menor que 1.0, e assim um decimal. Por comodidade recorrendo a fatores de operação, a relação é multiplicada por 100 e expressa como uma porcentagem. Assim, a pessoa fala de um fator operacional de 30, 40 ou 50%. Ao usar um fator operacional em uma fórmula de custo, porém deve ser mantido na forma decimal. Assim, 40% de um fator operacional seria escrito 0.40 em uma fórmula de custo. Os valores de (O F) normalmente estão entre 0.2 a 0.6, mas pode ser mais alto para Soldagens automatizadas ou pode abaixar para soldagens do campo de construção. Porém, o (O F) deverá ser determinado cuidadosamente desde que tem porte considerável no final do calculo de custo de soldagens.

Somando os valores calculados para (C M) e (C L), o custo da soldagem por metro linear é encontrado:

$$\text{Custo por metro linear de solda} = (C M) + (C L)...$$

Multiplicando o custo do metro linear pelo número de metros de solda encontra-se o custo calculado de soldagem. A precisão dos valores obtido dependerá da precisão dos fatores empregados.

6 CÁLCULOS PARA SOLDAS NÃO RELACIONADAS.

Quando a solda conter considerações não listadas nas tabelas de procedimentos deste manual, aplicam-se as mesmas equações de custos, mas os valores para (W E), (T), (W F) e (V G), se aplicáveis, devem ser determinados através de cálculos ou por medição de testes de soldagem. Outras equações são requeridas para tais cálculos.

Neste momento, se torna necessário fazer uma distinção entre (W E), o peso de um eletrodo consumido, e (W W), peso de metal de solda depositado. Na maioria dos processos de soldagem (notadamente a exceção é o processo de arco-submerso), nem todas as pontas do eletrodo (parte de cima) são utilizadas como um depósito útil de metal de solda. Um pouco é perdido como respingo e vaporização, e uma porção significativa do peso do eletrodo pode ser composta de materiais para gerar uma proteção de arco e uma escória protetora.

Conseqüentemente, o peso de eletrodo (W E) necessário para produzir um determinado comprimento de solda é normalmente maior que o peso de metal, (W W) depositado.

A proporção do eletrodo que termina como metal de solda, porém, é bastante constante para cada processo de soldadura, e como mostrado depois na Equação 4, o peso de eletrodo requerido pode ser calculado se o peso de metal de solda for conhecido. O peso de eletrodo requerido também pode ser medido diretamente de um teste de solda em casos que uma computação para (WW) não é requerida.

Uma distinção semelhante deve ser feita entre as duas medidas que podem ser usadas para computar o tempo de soldagem (T). Uma é a taxa de fusão (M) em libras por hora no qual um eletrodo é derretido durante a soldagem. A outra medida é a taxa de deposição (D) em kg por hora na qual um metal de solda é depositado de fato. Estas duas medidas normalmente diferem pela devido ao peso de eletrodo consumido que não necessariamente é igual ao peso de metal de solda depositado.

Como será mostrado depois nas equações 5 e 9, valores de (M) e (D), junto com a velocidade de soldagem (S) em pés por hora, são usados em várias combinações com (WE) e (WW) para estimar os custos com eletrodo mão-de-obra.

Medida Direta de Consumo de Eletrodo: o peso de eletrodo requerido pode ser determinado de forma direta (normalmente em testes de solda), ou com base no comprimento da solda ou tempo. Se as medições são feitas com base no comprimento (libras por pé de solda), o peso de eletrodo consumido verificado é dividido pelo comprimento da solda para se obter um valor para (WE).

A medida direta do consumo de eletrodo é fácil. O método mais comum é pesar eletrodo em quantidade mais que suficiente para fazer a solda de teste. Depois de completar o solda de teste, é pesado o eletrodo restante. A diferença em peso, antes de e depois, é o peso de eletrodo consumido para o comprimento da solda. Fazer uma solda para teste que usa menos que um eletrodo completo normalmente não é preciso e nem recomendável. Porém, se é necessário fazer uma solda de teste usando menos de um eletrodo, deve ser aumentado o peso do eléctodo consumido à uma quantia proporcional para incluir a perda da ponta de contato. Pontas de contato normalmente tem 1,5 a 3 polegadas de comprimento. Com arame de solda, o arame suficiente deve ser desenrolado do rolo e marcado com uma braçadeira ou lápis colorido. Meça da marca a um ponto conveniente ao alimentador de arame. O consumo de eletrodo é achado então notando a distância que a marca avançou. O peso pode ser computado usando as tabelas na Seção de Dados de Referência.

Calculando o Consumo de Eletrodo: a maioria dos métodos de cálculo (WE) estão baseados em uma estimativa de (WW), peso de metal de solda depositado. Há, portanto, vários modos pelo qual o (WW) pode ser achado. O método mais direto é selecionar valores de (WW) das tabelas 12-2, 12-3 ou 12-4. Se a solda não está listada nessas tabelas ou nos procedimentos de soldagem, (WW) pode ser calculado do volume de metal de solda requerido para determinada solda de área de seção cruzada (A).

Uma estimativa um pouco menos precisa de (WW) pode ser feita de valores de taxa de deposição e velocidade de soldagem, usando a Equação 9. Embora o procedimento usado para achar (WW), o consumo de eletrodo (WE) é determinado pela equação:

DE

onde (DE) é a eficiência de deposição, um fator que compensa para perda de material do eletrodo como proteção gasosa, escória, e respingo. Valores típicos deste fator para vários processos são:

Soldagem com eletrodo revestido.....	0,65
Soldagem auto protegida com fluxo interno.....	0,82
Soldagem ao arco elétrico com proteção gasosa	0,92
Soldagem com arco submerso	1,00

Determinado o peso do metal soldado, estimar o peso do metal de solda requerido para prever o consumo do eletrodo através da equação 4 pode ser feito pelo 1, encontrado o corte transversal, área da solda por polegada quadrada; este valor é multiplicado por em fator de conversão apropriado (3.4 para aços e 1.2 para alumínio)para determinar “WW” (polegada por pé linear de solda). O fator 3.4 é aproximado para a maioria das ligas de aços incluindo aços inoxidáveis.

7 Resumo de Métodos para Cálculo de custos

Materiais: O custo por pé (metro) de materiais (cm) podem ser calculados a partir da equação 1 se a quantidade de eletrodos consumidos (WE,WF, e VG) e outros custos (CE,CF, e CG) são conhecidos. Peso do eletrodo (WE) pode ser encontrado através da equação 4 se o peso do metal de solda (WW), eficiência de deposição (DE) são conhecidos. Peso do metal de solda pode ser calculado para a área transversal na solda (A) e a densidade do metal de solda.

Mão de Obra e Despesas Gerais: O custo da mão de obra e despesas gerais por pé

(metro) pode ser computado pela equação (2) se o tempo requerido (T), taxa da mão de obra e despesas gerais (CR) e o fator de operação (OF) são conhecidos.

Tempo (T) pode ser calculado pela equação (5) se o peso do metal de solda (WW) e a taxa de deposição (D) são conhecidos; pela equação (7) se o peso do eletrodo consumido (WE) e o valor velocidade de fusão (M) são conhecidos; ou pela equação (8) se a velocidade de soldagem (S) é conhecido. Custo mão de obra e despesas

gerais por pé (metro) podem ser calculados diretamente se (CR), (S) e (OF) são conhecidos.

8 CONCLUSÃO

O Trabalho dedicou-se ao estudo das vantagens de robotizar o processo de soldagem MAG manual,vimos através de inúmeras obras citadas que existem vantagens na robotização do processo, porém alguns cuidados tem que ser analisados. Um planejamento deverá ser elaborado e acompanhado em suas atividades de implantação do projeto, dessa maneira todas etapas dasações será cuidadosamente estudada, analisada e melhorada quando possível.

O trabalho procurou apresentar uma análise que possa orientar a implantação da robótica no processo de soldagem MAG.

É preciso reconhecer que incorporar a robótica na soldagem, requer adaptação particular de cada empresa devido o tipo de serviço que será realizado.

Portanto evidenciamos, que, embora o estudo aqui empreendido tenha a pretensão de tornar-se uma contribuição para as pesquisas, assim como a prática que envolve o uso de robôs nos processos de soldagem a arco elétrico nas empresas e para que o processo se torne eficaz, levará certo tempo onde haverá a adaptação ao novo sistema de trabalho pelos colaboradores, assim a evidencia que o processo vem continuando a merecer muitos estudos que possam esclarecer e orientar melhor os interessados.

9 Referências bibliográficas

<http://www.fanucamerica.com/Products/Robots/Atoz.aspx>

<http://www.motoman.com/products/robots/arc-welding-robots.php>

http://www.kuka-robotics.com/brazil/br/products/industrial_robots/

<http://kawasakirobotics.com/products/?page=robots>

Artigo “Determinando Custos de Soldagem” – Fatec – SP

Soldagem MIG/MAG - Ponomarev, Vladimir; Scotti, Americo Editora: Artliber, 2º EDIÇÃO

Incorporar a robótica aplicada à soldagem, Tremonti, Marcos A.

<bt.fatecsp.br/system/articles/151/original/marcosa.pdf>