

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Leonardo Miron

**“ESTUDO DE CAUSA” DOS DEFEITOS DA SOLDAGEM
GMAW PARA O QUADRO AUXILIAR DE AUTOMÓVEIS**

Taubaté – SP

2007

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Leonardo Miron

**“ESTUDO DE CAUSA” DOS DEFEITOS DA SOLDAGEM
GMAW PARA O QUADRO AUXILIAR DE AUTOMÓVEIS**

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre, pelo curso de
Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Tecnologia dos materiais e
processos de fabricação

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Taubaté – SP

2007

Ficha catalográfica

M676e	<p>Miron, Leonardo. "Estudo de causa" dos problemas de soldagem GMAW para o quadro auxiliar de automóveis./ Leonardo Miron. – Taubaté: Unitau, 2007.</p> <p>94 f. :il;30 cm.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Engenharia Mecânica. Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo</p> <p>1. Soldagem GMAW. 2. Defeitos. 3. Quadro auxiliar. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.</p> <p>CDD(21) 671.56</p>
-------	---

LEONARDO MIRON
“ESTUDO DE CAUSA” DOS DEFEITOS DA SOLDAGEM GMAW PARA O
QUADRO AUXILIAR DE AUTOMÓVEIS

Dissertação apresentada para obtenção de Título de Mestre pelo Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Área de Concentração: Tecnologia de Materiais e Processos de Fabricação.

Data:

Resultado:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Rubens de Camargo Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Tomaz Manabu Hashimoto UNESP

Assinatura _____

Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso Universidade Taubaté

Assinatura _____

DEDICATÓRIA

A Deus.

Aos meus pais Luiz Carlos Miron Gonçalves e Vera Lucia Fanan Miron pelo amor, carinho e dedicação na minha existência, ao meu irmão Ricardo Miron pela amizade e apoio.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

Ao meu orientador Prof. Dr. José Rubens de Camargo, pela amizade e estímulo durante esta jornada.

Ao amigo Leandro Francisco dos Santos, pelo apoio técnico na realização deste trabalho.

Aos companheiros de mestrado, pela excelente convivência e amizade.

A Empresa Metalbages do Brasil Ltda, pela disponibilização dos recursos necessários para a realização dos estudos.

Aos professores, pelos conhecimentos proporcionados.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

Para o trabalho que gostamos levantamo-nos cedo e fazemo-lo com alegria.

William Shakespeare

Temos o destino que merecemos. O nosso destino está de acordo com os nossos méritos.

Albert Einstein

Resumo

Dentro do contexto atual da indústria automobilística, a produção de componentes soldados é caracterizado pela elevada demanda do mercado interno e de exportação, obrigando as empresas automotivas a adequarem seus sistemas produtivos focalizando a qualidade e produtividade. Para isso, procura-se melhorar seus processos de soldagem robotizados, visando a sua otimização. Uma das formas de se conseguir tal resultado consiste em saber quais são as principais causas dos problemas de soldagem “GMAW” robotizado, e assim, entendê-las para poder atacar diretamente na variável que está causando o respectivo problema. Esta pesquisa tem por objetivo analisar qualitativamente e quantitativamente as causas dos problemas da soldagem dos ganchos no quadro auxiliar que fixa as bandejas e a caixa de direção dos automóveis, produzidas no primeiro e segundo turno da empresa Metalbages do Brasil Ltda. Este levantamento busca relacionar as áreas da qualidade e da tecnologia através do diagrama de Ishikawa e também de análises laboratoriais. Tendo o conhecimento interdisciplinar dessas respectivas causas, pode-se auxiliar os inspetores de soldagem e gerência produtiva, com ações nas correções e até mesmo na elaboração de planos preventivos resultando em melhor qualidade e produtividade. A análise das falhas de soldagem em 15.996 peças diretamente na célula de fabricação, permitiu entender como cada variável contribuiu para os problemas. Este estudo mostrou que o dispositivo atual não garante a repetibilidade do posicionamento correto do gancho, dependendo da ação do operador.

Palavras-chave: Defeitos, Soldagem GMAW, Quadro auxiliar, Automóveis.

Abstract

Inside the current context of the automobile industry, the production of welding components is featured by the high demand of the internal market and of the exportation, forcing the automotive companies to adapt their productive systems focusing the quality and productivity. For that, they try to improve their welding robotics processes, seeking the optimization. One of the ways of getting such result consists of knowing which are the main causes of the welding problems "GMAW" robotics, and this way, to understand them in order to attack directly the variable that is causing the respective problem. This research has its objective on analyzing the quality and the quantity of the causes of the hooks welding problems in the auxiliary picture that fastens the trays and the direction box of the automobiles, produced in the first and the second shift of the company Metalbages of Brazil Ltda. This research looks for relating the areas of the quality and of the technology by the diagram of Ishikawa and also laboratory analysis. The welding inspectors and the productive management can be assisted if there is the interdisciplinary knowledge of those respective causes, performing actions in the corrections and even in the elaboration of preventive plans resulting in better quality and productivity. The analysis of the welding flaws in 15,996 pieces directly in the production cell allowed to understand as each variable contributed for the problems. This study showed that the current device doesn't guarantee the repeatability of the correct positioning of the hook, depending on the action of the operator.

Word-key: Defect. Welding GMAW. Subframe. Automobiles.

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CO₂ - Dióxido de carbono

O₂ - Dióxido

DIN - Die Europäische Norm

DCEP - Direct current electrode positive

DCEN - Direct current electrode negative

GMAW - Gas metal arc welding

MIG - Metal inert gas

MAG - Metal active gas

ZTA - Zona termicamente afectada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região do arco na soldagem “GMAW”	21
Figura 2 - Diagrama do equipamento “GMAW”	25
Figura 3 - Tipos de transferência na soldagem “GMAW”	26
Figura 4 – Tipo de inclinação de trabalho na forma do cordão de solda	29
Figura 5 - Comprimento do arco	31
Figura 6 - Corrente de soldagens típicas X alimentação de eletrodos de aço	33
Figura 7 - Ângulos de posicionamento da tocha	34
Figura 8 - Alimentador de arame para solda robotizada	35
Figura 9 - Regulagem automática do tamanho do arco em “GMAW”	38
Figura 10 - Efeito Pinch	39
Figura 11 - Tipos de fontes de arame	41
Figura 12 - Redução do nível de respingos com a redução do teor de CO ₂ no gás de proteção	45
Figura 13 - Contorno e penetração da solda para diversos gases de proteção	48
Figura 14 - Perfil da área penetrada	49
Figura 15 - Efeito da adição de oxigênio versus dióxido de carbono à proteção de argônio	49
Figura 16 - Respingos de solda	54
Figura 17 - Falta de penetração	56
Figura 18 - Porosidade	57
Figura 19 - Diagrama de causa-e-efeito de Ishikawa	67

Figura 20 - Desenho do robô da marca ABB	70
Figura 21 - Mesa giratória da marca ABB	70
Figura 22 - Dispositivo de solda com peça posicionada	71
Figura 23 - Rotação da amostra a cada mudança de lixa	74
Figura 24 - Estereoscópio da marca Olympus	75
Figura 25 - Quantidade de defeitos de respingos	77
Figura 26 - Diagrama de Ishikawa – Respingos	78
Figura 27 - Respingos na solda do gancho do quadro auxiliar	78
Figura 28 - Quantidade de defeitos de solda deslocada	80
Figura 29 - Diagrama de Ishikawa – Solda deslocada	80
Figura 30 - Solda deslocada do gancho do quadro auxiliar	81
Figura 31 - Quantidade de defeitos de falta de penetração	82
Figura 32 - Diagrama de Ishikawa – Falta de penetração	83
Figura 33 - Falta de penetração na solda do gancho do quadro auxiliar	83
Figura 34 - Quantidade de defeitos de chapa furada	85
Figura 35 - Diagrama de Ishikawa – Chapa furada	85
Figura 36 - Chapa furada do gancho do quadro auxiliar	86
Figura 37 - Quantidade de defeitos de porosidade	87
Figura 38 - Diagrama de Ishikawa – Porosidade	88
Figura 39 - Porosidade na solda do gancho do quadro auxiliar	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação para eletrodos para soldagem “GMAW”	43
Tabela 2 - Principais gases utilizados na soldagem	46
Tabela 3 - Propriedades mecânicas – químicas especificadas e utilizadas nos componentes do quadro auxiliar	69
Tabela 4 - Quantidade de defeitos no processo de soldagem	76
Tabela 5 - Quantidade de defeitos de respingos	77
Tabela 6 - Quantidade de defeitos de solda deslocada	79
Tabela 7 - Quantidade de defeitos de falta de penetração	82
Tabela 8 - Quantidade de defeitos de chapa furada	84
Tabela 9 - Quantidade de defeitos de porosidade	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 <i>Gas Metal Arc Welding</i> “GMAW”	21
2.1.1 Vantagens e Limitações	22
2.2 Fundamentos do processo “GMAW”	24
2.2.1 Princípios de operação	24
2.3 Mecanismos de transferência do metal	26
2.4 Variáveis do processo “GMAW”	27
2.4.1 Polaridade	28
2.4.2 Posição da junta a ser soldada	29
2.4.3 Diâmetro do eletrodo	30
2.5 Parâmetros de soldagem	30
2.5.1 Tensão de soldagem	31
2.5.2 Corrente de soldagem	32
2.5.3 Velocidade de soldagem	33
2.5.4 Ângulo de inclinação da tocha de soldagem	33
2.6 Equipamentos	34
2.6.1 Alimentador de arame	35
2.6.2 Controle de soldagem	36
2.6.3 Fontes de energia	37
2.6.4 Regulador do gás de proteção	40

2.6.5 Fontes de arame	40
2.6.6 Consumíveis	41
2.6.7 Eletrodos	42
2.7 Gases de proteção	43
2.7.1 Função	43
2.7.2 Efeitos	44
2.7.3 Gases de proteção Inertes	46
2.7.4 Adições de oxigênio e CO ₂ ao argônio e hélio	48
2.7.5 Dióxido de carbono	49
2.8 Soldagem MAG robotizado	50
2.9 Descontinuidades estruturais em solda “GMAW”	52
2.9.1 Respingos de solda	53
2.9.2 Cordão de solda deslocado	55
2.9.3 Falta de penetração	55
2.9.4 Furo na raiz (chapa furada)	56
2.9.5 Porosidade	56
2.10 Conceito da qualidade	59
2.11 História da qualidade	61
2.12 O uso das ferramentas gerenciais	65
2.13 Diagrama de causa e efeito de Ishikawa	66
3 PROPOSIÇÃO	68
4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	69
4.1 Materiais	69
4.2 Métodos	71

4.3 Metalografia: preparação de amostras e análise quantitativa	73
4.3.1 Corte	73
4.3.2 Lixamento	73
4.3.3 Polimento	74
4.3.4 Ataque químico	74
4.3.5 Análise qualitativa	75
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.1 Resumo da quantidade de defeitos no processo de soldagem robotizado	76
5.1.1 Análise de respingos no processo de soldagem robotizado	76
5.1.2 Análise de solda deslocada no processo de soldagem robotizado	79
5.1.3 Análise de falta de penetração no processo de soldagem robotizado	81
5.1.4 Análise de chapa furada no processo de soldagem robotizado	84
5.1.5 Análise de porosidade no processo de soldagem robotizado	86
6 CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

No mundo globalizado, a competitividade é definida pela velocidade de resposta que uma organização faz às drásticas e rápidas mudanças na demanda e nas expectativas do cliente. Vivendo este contexto, as empresas precisam ser enxutas e flexíveis, com auto-gestão em todas as áreas e, em especial, no processo fabril. Takahashi e Takashi (2000) afirmam que as características operacionais de uma fábrica são os elementos decisivos para a qualidade, quantidade e custo. Com isso, foram criadas algumas ferramentas para o gerenciamento e acompanhamento das linhas de produção, visando à melhoria dos processos (TAKAHASHI; TAKASHI, 2000).

Atualmente, as atividades de qualidade estão cada vez mais incluindo a participação de todo o pessoal da empresa, propiciando um grau de comprometimento, um impacto revolucionário com mudanças na consciência das pessoas e no ambiente de trabalho, um comprometimento de todos na busca dos resultados e na solução de problemas, a fim de reformular a estrutura da empresa e gerar maiores lucros (IM&C, 2000).

O objetivo da diferenciação entre esses enfoques não pode ir além dos objetivos didáticos, uma vez que eles complementam-se entre si na busca pela satisfação dos clientes. O ideal seria que, assim como os indicadores de qualidade são influenciados pelos processos utilizados no seu desenvolvimento, os processos também fossem influenciados pelos indicadores de qualidade definidos no planejamento (CAMPOS, 1992).

A produtividade é vista como eficiência e é conseguida por meio da otimização do uso dos recursos empregados (inputs) a fim de maximizar os resultados desejados (outputs). Sob o ponto de vista mais amplo, produtividade não é somente

obter o máximo de eficiência fazendo certo as coisas, mas atingir o máximo de eficácia. Fazendo as coisas certas. É necessário ir além do conceito básico de resultado obtido/recurso empregado e entender os fatores determinantes que conduzem à melhoria da produtividade.

Dessa forma, fica fácil entender e localizar a qualidade no conceito de produtividade, seja ele restrito ou amplo. A qualidade deve estar sistematicamente e tecnicamente aplicada em qualquer processo, presente nos recursos e no resultado, bem como na atividade de conversão desses recursos em resultado.

As pessoas representam um dos principais fatores responsáveis pela qualidade e pelo aumento na produtividade da empresa. Nesse sentido, é necessário valorizá-las, por intermédio de processos de trabalho que considerem as competências, o espírito de equipe, a eficiência, o orgulho pelo trabalho, a orientação para o cliente e a correta utilização das máquinas e sistemas.

Essas abordagens possuem alguns pontos em comum, entre eles a satisfação das necessidades do cliente, seja ele interno ou externo, seja por meio da adequação ao uso ou da conformidade aos quesitos esperados.

A ferramenta utilizada na identificação dos problemas priorizados foi o diagrama de causa-efeito. Para Campos (1992), este diagrama também chamado de "diagrama espinha de peixe" ou "diagrama de Ishikawa", foi criado para que todas as pessoas pudessem exercitar a separação dos fins de seus meios. Este diagrama, originalmente proposto por Kaoru Ishikawa na década de 60, já foi bastante utilizado em ambientes industriais para a localização de causas de dispersão de qualidade no produto e no processo de produção. É uma ferramenta gráfica utilizada para explorar e representar opiniões a respeito de fontes de variações em qualidade de processo,

mas que pode perfeitamente ser utilizada para a análise de problemas organizacionais genéricos (CAMPOS, 1992).

Para cada problema priorizado, o diagrama mostra a relação entre uma característica da qualidade (efeito) e os seus fatores (causas). Os servidores envolvidos no processo, após a realização de novo *brainstorming*, relacionam as causas mais prováveis aos problemas priorizados.

O conceito básico de soldagem “GMAW” (*Gas Metal Arc Welding*) foi introduzido na década de 20, e tornado comercialmente viável após 1948. Inicialmente, foi empregado com um gás de proteção inerte na soldagem do alumínio. Conseqüentemente, o termo *soldagem MIG (Metal Inert Gas)* foi inicialmente aplicado e ainda é uma referência ao processo. Desenvolvimentos subseqüentes acrescentaram atividades com baixas densidades de corrente e correntes contínuas pulsadas, emprego em uma ampla gama de materiais, e o uso de gases de proteção reativos ou ativos como o dióxido de carbono (CO₂), e misturas de gases. Esse desenvolvimento posterior levou à aceitação formal do termo “GMAW” para o processo, visto que tanto gases inertes quanto reativos são empregados. No entanto, quando se empregam gases reativos, é muito comum usar o termo *soldagem MAG* (ESAB, 2005).

A soldagem é hoje um dos processos de fabricação mais importantes e populares para a união de materiais metálicos (ALMENDRA; SILVA; RAMALHO, 1997). A garantia de sua qualidade requer, no entanto, em determinadas aplicações, avaliações e qualificações da junta soldada (AWS, 1988). A inspeção e a aceitabilidade de determinada solda deve atender a critérios preestabelecidos, tais como em normas específicas (AWS, 1999). Nos países desenvolvidos, onde a qualidade do produto é fator determinante da sua aceitabilidade no mercado, o

desenvolvimento de normas, inspeção e aprovação do produto torna-se necessidade indispensável (AWS, 1980).

O processo de soldagem é bastante antigo e comum na maioria das indústrias. Apesar da evolução das técnicas, ainda existe um número elevado de processos que dependem da experiência do operador no ajuste dos parâmetros. Estes parâmetros são importantes e estão relacionados com defeitos e dificuldades comuns em processos de soldagem: má aderência do cordão de solda, porosidades, mordeduras, falta de penetração, entre outras (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2005).

O processo de soldagem “GMAW” é bastante versátil. Algumas de suas principais vantagens são: taxa de deposição maior que a de soldagem com eletrodo revestido, menos gás e fumaça na soldagem, alta versatilidade, larga capacidade de aplicação além de poder ser aplicado em uma faixa ampla de espessuras e materiais (AWS, 1999). O uso do processo “GMAW” é atualmente o método mais utilizado na Europa Ocidental, U.S.A. e Japão. Isto ocorre entre outras coisas, devido a sua alta produtividade e facilidade de automação (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2005).

No processo de soldagem “GMAW” robotizado, grandes variedades de defeitos podem aparecer no cordão de solda e podem estar associados a várias causas, tais como: conhecimento teórico e prática do operador, inclinação da tocha, folga entre as chapas, posição inicial do arame e a extensão do arame em relação à peça dos materiais soldados, etc (WAINER; BRANDINI; MELLO, 2004).

Na indústria automobilística, a influência das variações dos parâmetros de soldagem em componentes soldados pode comprometer a qualidade e segurança

do produto, afetando diretamente o bom funcionamento do veículo e o bem estar do usuário (PEREIRA, 2001).

O capítulo 2 descreve a revisão da literatura, ou seja, a pesquisa sobre todos os assuntos tratados nesta dissertação, que servirão para embasar os resultados obtidos.

O capítulo 3 descreve o propósito da pesquisa.

O capítulo 4 mostra os materiais utilizados bem como a metodologia aplicada.

O capítulo 5 descreve os resultados obtidos, as análises quantitativas e qualitativas bem como as análises das possíveis causas, por meio do Diagrama de Ishikawa.

Finalmente, o capítulo 6 mostra as conclusões.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Gas Metal Arc Welding – “GMAW”

Gas Metal Arc Welding – “GMAW” (Figura 1) é um processo de soldagem a arco, que utiliza um arco entre uma alimentação contínua de metal e a poça de fusão (MODENESI, 2000). Esse processo utiliza como proteção para a poça de soldagem, contra contaminação do ar externo, uma fonte externa de gás de proteção (BRACARENSE, 2003).

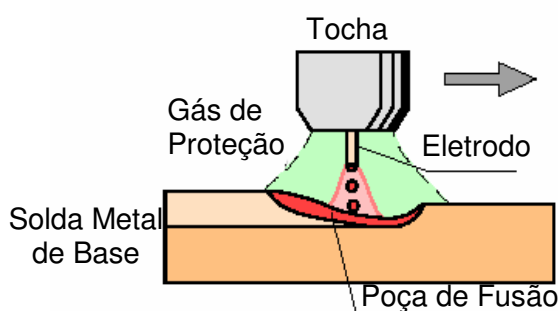


Figura 1 - Região do arco na soldagem GMAW (MODENESI, 2000)

A concepção básica do “GMAW” iniciou-se em 1920, entretanto, somente se tornou comercial após 1948 (FORTES, 2004).

Inicialmente, este era considerado ser, fundamentalmente, um processo de alta densidade de corrente, pequenos diâmetros de eletrodos de metal nú onde se utiliza um gás inerte para proteção. Sua primeira aplicação foi na soldagem de alumínio. Por causa dessa característica, o processo era conhecido como *Metal Inert Gas - MIG*, utilizando o calor de um arco elétrico entre um eletrodo nú alimentado continuamente e o metal base para formar a solda. A proteção do arco e da poça de solda vem inteiramente do gás. No caso do processo de soldagem MIG o gás pode ser composto por : Argônio, Hélio, Argônio +1% de O₂; Argônio + 3% de O₂. Quando o gás utilizado não for inerte, o processo é chamado de **METAL ACTIVE GAS (MAG)**. Neste caso os gases utilizados podem ser: CO₂; CO₂ + 5 a 10% de O₂;

Argônio + 15 a 30% de CO₂; Argônio + 5 a 15% de CO₂; Argônio + 25 a 30% de N₂. Evolução subsequente do processo incluiu a soldagem com baixas densidades de corrente e corrente pulsada, aplicação em uma vasta faixa de materiais e emprego de gás ativo ou uma mistura de gases. Este último desenvolvimento levou à aceitação formal do termo *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) para denominação do processo, devido aos gases inertes e ativos serem utilizados. Uma variação do processo “GMAW” utiliza um eletrodo tubular onde pós-metálicos compõem o centro do arame. Tais eletrodos requerem uma proteção de gás para proteger a poção de fusão da contaminação atmosférica. O processo de soldagem por arame tubular é considerado um segmento do processo de soldagem “GMAW” pela sociedade americana de soldagem (AWS). Associações estrangeiras podem agrupar este processo de forma diferente (BRACARENSE, 2003).

O processo de soldagem “GMAW” pode ser utilizado nos modos automático, semi-automático e mecanizado. Todos os metais comercialmente importantes, tais como aços carbono, aços de alta resistência e baixa liga, aço inoxidável, alumínio, cobre, titânio e ligas de níquel podem ser soldados em todas as posições de soldagem através da escolha apropriada de gás de proteção, de eletrodos e das variáveis de soldagem (PEIXOTO, 2004).

2.1.1 Vantagens e Limitações

Como vantagem e limitações do processo “GMAW” (MIG/MAG) pode-se enumerar as seguintes características (QUITES, 1979; STREET, 1990; AWS, 1999; SADLER, 1999; NORRISH, 1992; WAINER, 1992; ALCAN, 1993; MACHADO, 1996):

a) Principais vantagens:

- versatilidade de soldagem em todas as posições e possibilidade de adaptação à automação;
- alta taxa de deposição devido à elevada densidade de corrente possível de ser aplicada (300 A/mm^2), o que corresponde até 10 vezes a densidade empregada no eletrodo revestido;
- ampla faixa de aplicação em diferentes ligas e espessuras;
- possibilidade de elevadas velocidades de soldagem, bem maiores que outros processos como o eletrodo revestido (ER), que torna o processo MIG/MAG o mais atrativo industrialmente, e;
- alimentação contínua do eletrodo nú, não formação de escória (menor tempo de limpeza) e reduzido nível de hidrogênio aportado (na ordem de 5ml/100g de metal).

b) Principais limitações:

Como limitação do processo pode-se enumerar (QUITES, 1979; STREET, 1990; AWS, 1999; SADLER, 1999; NORRISH, 1992; WAINER, 1992; ALCAN, 1993; MACHADO, 1996):

- alta velocidade de resfriamento (ausência de escória) propiciando a tendência ao surgimento de trincas;
- investimento inicial em equipamento mais alto, quando comparado ao processo com eletrodo revestido (ER);
- grande emissão de raios ultravioleta e produção de ozônio (em função da baixa produção de fumos – os fumos servem de barreira à emissão dos raios para a vizinhança do arco);
- o equipamento de soldagem é mais complexo;

- O arco deve estar protegido de correntes de ar que possam dispersar o gás de proteção. Isto limita a soldagem em campo;
- o processo resulta em altos níveis de radiação e calor, o que pode resultar na resistência do operador ao processo, e;
- o processo “GMAW” apresenta maior dificuldade de utilização em locais difíceis de alcançar porque a tocha de soldagem é maior em relação a outros processos, além da tocha ter de estar perto da junta a ser soldada para assegurar proteção suficiente (INÊS, 2006).

As vantagens fazem do processo particularmente bem adequado para alta produção e soldagem automatizada. Isto se tornou evidente com o advento da utilização de robôs na produção, onde “GMAW” tem sido o processo mais utilizado (FORTES, 2004).

2.2 Fundamentos do processo “GMAW”

2.2.1 Princípios de operação

O processo “GMAW” incorpora alimentação automática de um eletrodo consumível contínuo que é protegido por um suprimento externo de gás. Depois da regulagem inicial feita pelo operador o equipamento auto-regula as características do arco automaticamente. Conseqüentemente, os únicos controles manuais necessários pelo soldador para operação semi-automática são a velocidade, a direção, a posição da tocha e a extensão do eletrodo na soldagem. Com equipamento e regulagem adequada, o comprimento do arco e a corrente (velocidade de alimentação do arame) são automaticamente mantidos. O equipamento necessário para “GMAW” é mostrado na Figura 2. Os componentes do

equipamento básico são a tocha de soldagem, a armação de cabos, a unidade alimentadora de eletrodo, a fonte de energia e a fonte de gás (MODENESI, 2000).

A tocha guia o eletrodo consumível e conduz a corrente elétrica e o gás de proteção para a área de trabalho. Deste modo, fornece a energia para estabelecer e manter o arco para fundir o eletrodo. O gás fornece a proteção da atmosfera necessária. Duas combinações de alimentadores de eletrodo e fontes de energia são utilizadas para alcançar a auto-regulagem do comprimento do arco. Mais comumente, esta regulagem consiste de uma fonte de voltagem constante (caracteristicamente fornecendo uma curva voltagem x corrente aplainada), em conjunção com uma unidade de alimentação de eletrodo de velocidade constante. Por outro lado, uma fonte de corrente constante origina em uma curva inclinada de voltagem x corrente, sendo a unidade de alimentação de eletrodo controlada pela voltagem do arco (BRACARENSE, 2003).

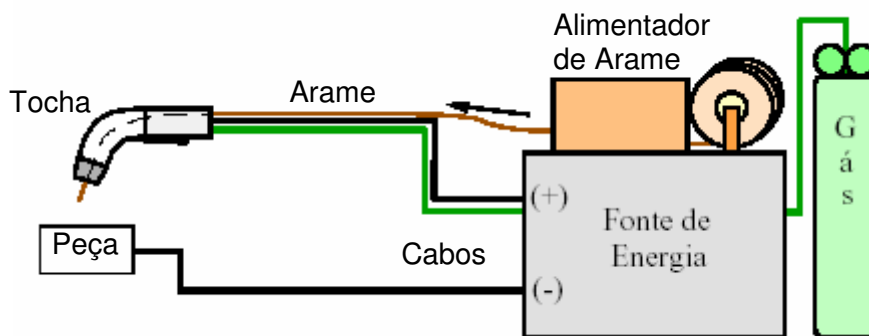


Figura 2 - Diagrama do equipamento "GMAW" (MODENESI, 2000)

Na soldagem "GMAW" convencional é usual trabalhar-se com fonte de tensão constante em conjunto com um alimentador de arame de velocidade constante (MODENESI, 2005). Mudanças na posição da tocha podem ocasionar mudanças na corrente de soldagem que levem exatamente à mudança na extensão (*stick out*) do eletrodo.

2.3 Mecanismos de transferência do metal

As características do processo “GMAW”, são melhores descritas em termos de três meios básicos sob os quais o metal é transferido do eletrodo para a peça de trabalho (Figura 3). Estes meios são: transferência por curto circuito, transferência globular e transferência spray (MODENESI, 2000).

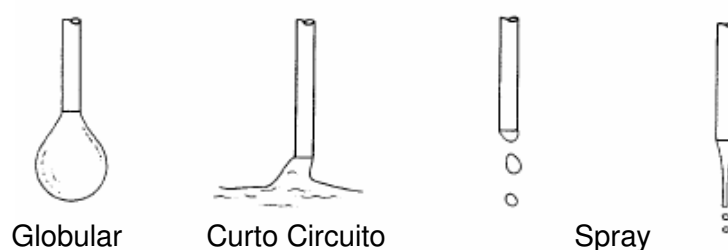


Figura 3 - Tipos de transferência na soldagem “GMAW” (MODENESI, 2000)

O tipo de transferência é determinado por um grande número de fatores. Os que mais influenciam são:

- magnitude e tipo de corrente de soldagem;
- diâmetro do eletrodo;
- composição do eletrodo;
- extensão do eletrodo;
- proteção de gás.

O tipo de transferência influencia fortemente as características operacionais do processo “GMAW”, como a sua estabilidade, o nível de respingos, o formato do cordão, sua regularidade e a capacidade de fundir o metal de base. Como a forma de transferência obtida no processo “GMAW”, depende dos parâmetros de soldagem e é muito sensível ao seu ajuste, a seleção adequada destes é fundamental para uma soldagem adequada com este processo (ARTHUZO, 2006).

A eficiência do processo MIG/MAG é muito dependente do tipo de transferência metálica que ocorre na ponta do eletrodo para a poça de fusão e, nem

sempre, um determinado tipo de transferência pode conseguir características como elevada produtividade, boa qualidade da solda produzida e a versatilidade (AWS, 1991; NORRISH; RICHARDSON, 1988).

O modo pelo qual o material é transferido no arco, determina a estabilidade do processo, a possibilidade de soldagem em várias posições, a quantidade de respingos gerada, a qualidade e geometria da solda e a aparência superficial do cordão de solda (NORRISH; RICHARDSON, 1988; NORRISH, 1992; STENBACKA; PERSSON, 1989).

2.4 Variáveis do processo “GMAW”

A seguir, são apresentadas algumas variáveis que afetam a penetração da solda, a geometria do leito e, conseqüentemente, as qualidades globais da solda:

- polaridade;
- posição da junta;
- diâmetro dos eletrodos.

O conhecimento e controle destas variáveis, são essenciais para a obtenção de soldas de qualidade satisfatória. Estas variáveis não são completamente independentes e para executar mudanças em uma delas, requerem mudanças em uma ou mais variáveis para produzir os resultados desejados. A habilidade e experiência do operador são necessárias para seleção e ajustes dos parâmetros para cada aplicação. Os valores ótimos são afetados pelo tipo de metal de base, pela composição do eletrodo, pela posição de soldagem e pelos requisitos de qualidade. Então, não há uma mudança única nos parâmetros que leve a um resultado ótimo (GIMENES; RAMALHO, 2006).

A solda “GMAW”, na sua versão semi-automática, o operador segura a tocha com a mão ligando ou desligando o sistema. Antes de abrir o arco, normalmente o circuito elétrico é ajustado no painel da fonte. Além do ajuste da tensão, é também necessário a escolha das outras variáveis de soldagem para controlar o processo a fim de se obter os resultados esperados. Estas variáveis são: a velocidade de alimentação do eletrodo, a distância do bocal à peça, o *stickout*, a inclinação de trabalho do eletrodo e o fluxo de gás. Essas variáveis requerem uma monitoração constante por parte do operador. A velocidade de soldagem, a posição de soldagem e o diâmetro do eletrodo também influenciam, consideravelmente, na geometria do cordão de solda (UNB, 2006).

2.4.1 Polaridade

O termo polaridade é usado para descrever a conexão elétrica da tocha de soldagem com relação aos terminais de corrente da saída da fonte de tensão. Quando a tocha é conectada ao terminal positivo da fonte, a polaridade é designada como DCEP (*direct current electrode positive*) ou polaridade inversa. Caso o terminal negativo seja conectado à tocha, a polaridade é designada como DCEN (*direct current electrode negative*) ou polaridade direta.

A grande maioria das aplicações, que utilizam “GMAW”, empregam DCEP (*direct current electrode positive*) como polaridade. Esta condição leva a um arco estável, transferência metálica suave, baixa quantidade de respingos, boas características do leito e maior profundidade de penetração para uma vasta gama de correntes de soldagem (BRACARENSE, 2003).

2.4.2 Posição da junta a ser soldada

A maioria das operações de soldagem com transferência por *SPRAY* são utilizadas nas posições horizontais e/ou planas. Porém, com baixos níveis de energia, utilização de pulsos e curto circuito, o “GMAW” pode ser utilizado em todas as posições de soldagem.

Para vencer a força da gravidade em soldagem vertical e sobre cabeça, pequenos diâmetros de eletrodos são utilizados, com transferência por curto circuito ou *spray* com arco direto pulsado. O baixo aporte de calor permite que o metal fundido resfrie rapidamente. A inclinação da solda com respeito ao plano horizontal vai influenciar a forma do cordão de solda, penetração e velocidade de soldagem (BRACARENSE, 2003).

Posicionando-se juntas lineares com o eixo de soldagem a 15 graus da horizontal e soldando nesta posição, o reforço de soldagem pode diminuir sobre as condições de soldagem que produziriam reforço excessivo quando o trabalho é feito em posição plana. Ao mesmo tempo a penetração é menor, o que é benéfico para a soldagem de folhas mais finas. Soldagem descendente afeta o contorno e penetração, como mostrado na Figura 4 (A). A poça de soldagem tende a escorrer na direção do eletrodo e pré-aquecer o metal de base. À medida que o ângulo de inclinação aumenta, acontece uma depressão na superfície média da solda, a penetração diminui e largura aumenta.



Figura 4 – Tipo de inclinação de trabalho na forma do cordão de solda (BRACARENSE, 2003)

Soldagem ascendente afeta o contorno da zona de fusão e a superfície da solda, como ilustrado na Figura 4 (B). A força da gravidade causa o escorrimento da poça de fusão sobre o eletrodo. As bordas da solda perdem material que vai para o centro. À medida que o ângulo de inclinação aumenta, o reforço e a penetração aumentam e a largura da poça de fusão diminui. Os efeitos são opostos aos produzidos na soldagem descendente.

2.4.3 Diâmetro do eletrodo

O diâmetro do eletrodo influencia a forma de cordão de solda. Quanto maior o diâmetro do arame, maior será a corrente necessária para a sua fusão. Correntes grandes produzem fusão adicional do eletrodo e depósitos maiores e mais fluidos. Altas correntes também originam altas taxas de deposição e grande penetração (BRACARENSE, 2003).

2.5 Parâmetros de soldagem

A correta utilização do processo MIG/MAG dependerá do perfeito entendimento de como as diversas variáveis, envolvidas na operação de soldagem, podem influenciar a estabilidade do arco e a qualidade final do depósito. As principais influências dos parâmetros envolvidos na soldagem MIG/MAG são a seguir relacionadas (QUITES, 1979; OKUMURA, 1991; RYAN, 1988; COSTA, 1995; MACHADO, 1996; ALTSHULLER, 1998; ALCHELE, 2002):

2.5.1 Tensão de soldagem

A tensão de soldagem influencia no insumo de calor e apresenta uma relação direta com o comprimento do arco e a largura do arco.

Qualitativamente, para uma mesma corrente, uma tensão baixa provocará cordões mais estreitos e maior penetração, o oposto acontecendo para tensões mais altas, além da ocorrência de salpicos grosseiros.

De uma maneira geral, tensões baixas favorecem a transferência por curto-circuito e, em tensões mais altas, haverá tendência à transferência no modo *spray*.

Valores elevados de tensão podem propiciar o aparecimento de porosidade, salpicos e mordedura. Para valores baixos poderá surgir porosidades e sobreposição de metal na margem do cordão.

O comprimento de arco é uma variável independente, mas a tensão no arco depende tanto do comprimento do arco, como de outras variáveis tais como, composição e diâmetro do eletrodo, gás de proteção e técnica de soldagem. A voltagem do arco significa, aproximadamente, a posição física do arco em termos elétricos; entretanto, a tensão no arco inclui a queda de tensão (Figura 5), devido ao comprimento do eletrodo, além do bico de contato.

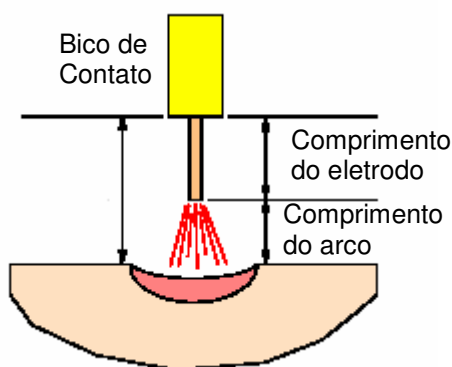


Figura 5 – Comprimento do arco (MODENESI, 2000)

Uma tensão de soldagem muito alta poderá causar porosidades, respingos e mordeduras. Já uma tensão muito baixa tenderia a estreitar o cordão de solda e aumentar a altura do reforço do cordão (GIMENES; RAMALHO, 2006).

2.5.2 Corrente de soldagem

Quando a corrente de soldagem for alta, irá influenciar diretamente na geometria do cordão, no volume da poça fundida, no incremento da taxa de fusão, na largura da ZTA (Zona termicamente afetada) e na microestrutura de depósito (efeito sobre o aporte térmico).

Entretanto, uma elevação na corrente de soldagem irá ocasionar um aumento na rigidez do arco e reduzir o nível de salpicos minúsculos (mudança no modo de transferência).

Quando todas as outras variáveis do processo são mantidas constantes, a corrente de soldagem varia com a velocidade de alimentação do arame ou com a taxa de fusão de maneira não linear. À medida que a velocidade de alimentação do eletrodo é variada, a corrente de soldagem vai variar de maneira semelhante se uma fonte de tensão constante for utilizada. Esta relação da corrente de soldagem com a velocidade de alimentação para eletrodos de aços carbono é mostrada na Figura 6.

Se forem mantidas constantes todos as demais variáveis de soldagem, um aumento na corrente de soldagem (aumento na velocidade de alimentação do arame), irá causar aumento na profundidade e largura de penetração, aumento na taxa de deposição e aumento do cordão da solda (GIMENES; RAMALHO, 2006).

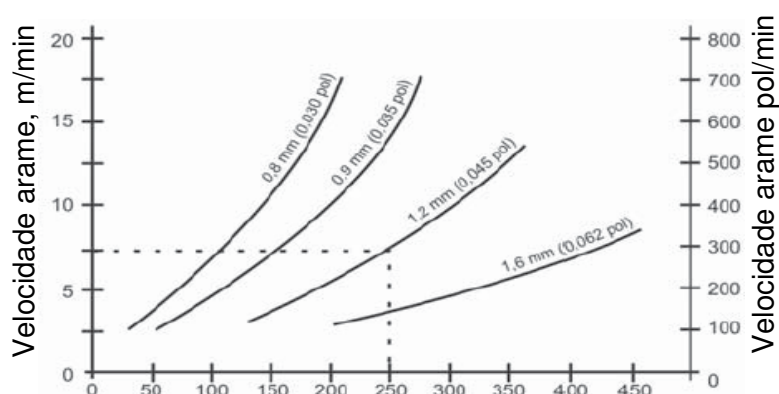


Figura 6 - Corrente de soldagens típicas X alimentação de eletrodos de aço (BRACARENSE, 2004)

2.5.3 Velocidade de soldagem

Um aumento na velocidade de soldagem irá propiciar estreitamento do cordão e uma elevação na penetração, num primeiro instante, e diminuição desta em valores maiores.

Em velocidades muito altas poderá ocorrer o surgimento de mordeduras (geometria irregular de cordão) e de trincas de solidificação.

Contudo, o incremento na velocidade de soldagem, mantido os outros parâmetros fixos, acarretará ainda uma redução no nível de distorção, tamanho da ZTA e modificação na microestrutura do metal depositado.

Também com a velocidade alta de soldagem, pelo efeito na taxa de resfriamento, também acarretarão aumentos nos limites de resistência à tração e escoamento e uma redução do alongamento (BRACARENSE, 2003).

2.5.4 Ângulo de inclinação da tocha de soldagem

A utilização de um ângulo de deslocamento (ou ataque) negativo, compreendido entre 0 a 20°, já que seu valor depende da posição de soldagem empregada, facilitará o processo de limpeza catódica (remoção de óxido, crítico em

metais como o alumínio e titânio, por exemplo). A aplicação de ângulo negativo, apesar do fácil controle e facilidade na operação, também provocará baixa penetração, acompanhamento de um cordão largo e chato e com reduzida incidência de salpico, conforme mostrado na Figura 7 (BARRA, 2003).

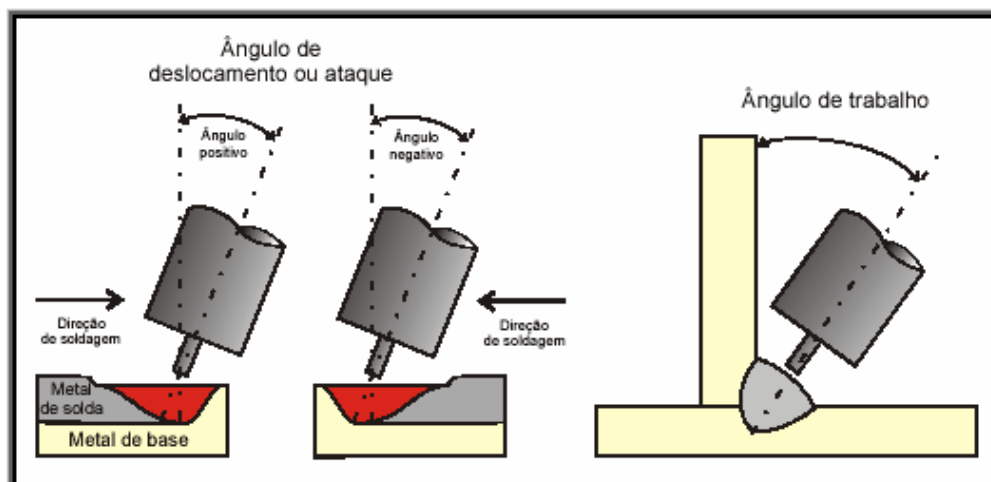


Figura 7 - Ângulos de posicionamento da tocha (BARRA, 2003)

O emprego do ângulo de deslocamento positivo (eletrodo à ré), compreendido entre 0 a 20° produz cordões com maior penetração e reforço convexo, embora o controle da operação de soldagem se torna mais difícil e o efeito da proteção do gás tende a diminuir, podendo gerar porosidade.

Transversalmente à solda localiza-se o ângulo de trabalho, compreendido normalmente entre 35 e 115° em relação a vertical (BARRA, 2003).

2.6 Equipamentos

O “GMAW” pode ser utilizado de forma automática ou semi-automática. O equipamento básico para qualquer utilização consiste de:

- tocha de soldagem (resfriada por ar ou água);
- unidade de alimentação de eletrodo;

- controle de soldagem;
- fonte de energia;
- fonte regulável de gás protetor;
- fonte de eletrodo;
- cabos e mangueiras de conexão;
- sistema para recirculação de água.

2.6.1 Alimentador de arame

O alimentador de arame normalmente utilizado é acionado por um motor de corrente contínua, conforme mostrado na Figura 8. Alimentadores de arame normalmente são utilizados em combinação com uma fonte de tensão constante. Eles podem ser utilizados com uma fonte de corrente constante se adaptações forem feitas.



Figura 8 - Alimentador de Arame para solda robotizada (MERKLE, 2006)

Quando uma fonte de corrente constante é utilizada, um sensor de tensão automático é necessário. Este controle detecta mudanças na tensão do arco e ajusta a velocidade da alimentação de arame, de modo a manter constante a tensão do arco. Esta combinação de velocidade variável de alimentação e fonte de tensão constante, permite diâmetros de arames mais grossos, onde as velocidades de

alimentação são menores. Em altas velocidades de alimentação, a dificuldade de se manter o arco estável é maior.

O motor de alimentação é conectado a um sistema de roletes que transmitem força ao eletrodo, puxando-o da fonte de arame e empurrando em direção a tocha de soldagem. Pode-se utilizar várias combinações de roletes para garantir que o arame não enrugue ou dobre após o seu deslocamento.

2.6.2 Controle de soldagem

A função principal do controle de soldagem é regular a velocidade de alimentação do arame. Com o aumento da velocidade do arame, o operador aumenta a corrente de soldagem. A redução da velocidade de alimentação resulta em uma redução nos valores de corrente. O processo também regula o início e o fim da alimentação do eletrodo, através do gatilho na tocha.

Existem também disponíveis controles de alimentação que permitem o uso de *touch start*, onde a alimentação começa quando o eletrodo toca a peça, ou *slow run in*, onde a alimentação é reduzida até que o arco seja iniciado, e então aumentada para os valores necessários à soldagem. Estes dois melhoramentos são empregados inicialmente em conjunto com fontes de corrente constante, e são particularmente úteis para soldagem de alumínio.

Normalmente, o gás de proteção, a água de resfriamento e a energia de soldagem são também levadas à tocha através do controle, requerendo conexão direta do controle com estes recursos. O fluxo de água e gás é regulado de modo a coincidir com o começo da soldagem. O controle pode seqüenciar o começo e interrupção do fluxo de gás, energizar o contator, permitir que o fluxo de gás seja

iniciado antes do começo da soldagem e que se interrompa após o término da soldagem de modo a proteger a poça fundida (BRACARENSE, 2003).

2.6.3 Fontes de energia

A soldagem a arco exige uma fonte de energia (máquina de soldagem) especialmente projetada para esta aplicação e capaz de fornecer tensões e corrente, em geral, na faixa de 10 a 40V e 10 a 1200A, respectivamente. (MODENESI, 2005).

As fontes de soldagem fornecem energia elétrica para o eletrodo e para a peça de trabalho de forma a produzir o arco elétrico. Para a maioria das aplicações usando a soldagem “GMAW”, utilizam-se fontes de corrente constante com eletrodo positivo (DCEP), então, o pólo positivo é conectado à tocha e o negativo, à peça de trabalho. A constituição interna destas fontes é, geralmente, do tipo transformador-retificador, ou geradores (pouco usuais). Os transformadores-retificadores são preferíveis em oficinas, pois trabalham com fonte de 230V ou 460V. Este tipo responde mais rápido que os geradores quando as condições do arco mudam. Os geradores são utilizados normalmente quando não existe fonte de energia disponível.

Ambos os tipos de fonte de energia são designados para fornecer corrente constante ou tensão constante.

As fontes de corrente constante mantêm um nível relativamente fixo de corrente durante a soldagem, indiferentemente da variação no comprimento do arco. Estas máquinas são caracterizadas por alta tensão em aberto e são limitadas a níveis de corrente por curto-circuito.

Como elas fornecem uma saída em corrente constante, o arco vai ser mantido com comprimento fixo somente se a distância do tubo de contato a peça, permanecer fixa com uma alimentação constante de arame.

As fontes do tipo tensão constante são utilizadas em conjunto com uma alimentação constante de arame e mantêm uma tensão, aproximadamente, constante durante a soldagem. Estas fontes compensam variações da distância entre o contato e peça de trabalho, que ocorrem normalmente durante a soldagem, pelo aumento ou redução instantânea da corrente de soldagem (FORTES, 2004).

O mecanismo de auto-correção é ilustrado pela Figura 9. Se a distância entre a ponta do eletrodo e peça aumentar, a tensão e o comprimento do arco também tendem a aumentar. Entretanto, a corrente diminui com o menor aumento na tensão, deste modo o *stick-out* tende a voltar ao valor original com a redução no consumo do eletrodo. Reciprocamente, se a distância é diminuída, a baixa tensão vai ser acompanhada em um aumento na corrente que compensa a diminuição do *stick-out* através do aumento na taxa de fusão. As características de auto-correção das fontes de tensão constantes são importantes para produção de condições estáveis de soldagem, mas existem algumas variáveis que contribuem para o desempenho da soldagem, particularmente para transferência em curto-circuito.

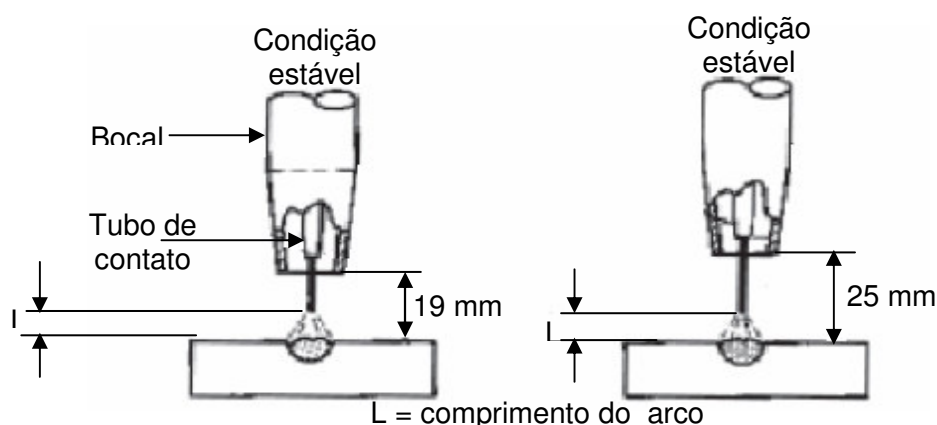


Figura 9 - Regulagem automática do tamanho do arco em GMAW (BRACARENSE, 2003)

Uma importante variável das fontes de soldagem é a indutância. Quando o eletrodo toca a peça a corrente aumenta rapidamente até um alto nível. A característica do circuito que afeta a taxa em que a corrente sobe é a indutância. O Efeito *Pinch* é determinado pelo nível final de corrente de curto-circuito, conforme mostrado na Figura 10. Como a indutância controla a taxa de crescimento da corrente, sem indutância, o efeito *pinch* vai ser aplicado rapidamente fazendo com que a gota caia do eletrodo, causando respingos excessivos. Alta indutância resulta na diminuição dos curtos circuitos por segundo e no aumento dos tempos de arco ligado. Na transferência *Spray* a variação da indutância não vai influenciar as condições de soldagem (FORTES, 2004).

A inclinação da curva estática é outra característica importante da fonte de soldagem. A inclinação é definida pelo fabricante ou pode ser determinada pelo usuário através de métodos simples.

A maior função desta variável na transferência curto-circuito é que ela controla a magnitude da corrente de curto-circuito, que é a amperagem que resulta quando o eletrodo toca a peça. Como a separação das gotas se dá pelo efeito *pinch*, a quantidade de corrente no curto-circuito durante a transferência determina o modo como as gotas se destacam.

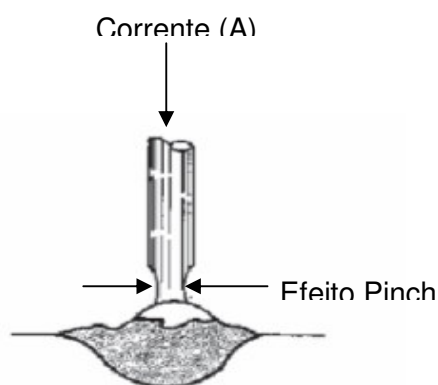


Figura 10 - Efeito Pinch (BRACARENSE, 2003)

Quando esta inclinação é pequena na fonte de energia, a corrente de curto circuito vai crescer rapidamente até um nível alto. O efeito *pinch* vai ser alto e as gotas fundidas vão separar violentamente do arame criando respingos excessivos, assim como por efeito da baixa indutância.

Se a corrente de curto circuito disponível é limitada devido a uma curva íngreme, o efeito *pinch* vai ser baixo para separar a gota e estabelecer o arco. Por este motivo, muitas máquinas são equipadas com ajustes de inclinação (FORTEL, 2006).

2.6.4 Regulador do gás de proteção

Um sistema é necessário para fornecer fluxo constante de gás de proteção. A fonte de gás consiste normalmente de um cilindro de gás ou mistura de gases a serem usadas na proteção do cordão de solda, ajustadas por reguladores de pressão e/ou vazão. Em oficinas com um número grande de equipamentos, instalações centralizadas para armazenamento e distribuição de gases podem ser úteis (BRACARENSE, 2003).

2.6.5 Fontes de arame

O processo “GMAW” utiliza uma alimentação contínua de arame como eletrodo, consumido a altas velocidades. Por isso, a fonte de arame deve, deste modo, suprir um grande volume de fio para que a alta eficiência do processo seja garantida. A Figura 11 mostra alguns tipos de fontes de arames. Normalmente, os arames são fornecidos em bobinas ou rolos de pesos entre 0,45 a 27 Kg de fio. Algumas indústrias podem utilizar tambores ou carretéis de pesos entre 340 a 450 Kg, ou bobinas menores (colocadas nas tochas) de baixo peso (0,45 a 0,9 Kg).

Aplicações especiais ou de utilização militar podem requerer embalagens especiais. Normalmente, necessidades especiais podem ser acordadas entre o fornecedor e o usuário (BRACARENSE, 2003).



Figura 11 - Tipos de fontes de arame (COMERCIAL GERDAU, 2006)

2.6.6 Consumíveis

Os principais tipos de consumíveis utilizados na soldagem “GMAW” são o arame e o gás de proteção. A composição química do eletrodo, do metal de base e do gás de proteção é que determinarão a composição química do cordão de solda. A composição química do metal de solda influencia grandemente as propriedades mecânicas e químicas da solda feita. Os fatores que influenciam a escolha do tipo de eletrodo e do gás de proteção são:

- metal Base;
- propriedades mecânicas requeridas pelo cordão de solda;
- condição e pureza do metal base;
- tipo de serviço e aplicações específicas requeridas;
- posição de soldagem;
- modo pretendido de transferência do metal (BRACARENSE, 2003).

2.6.7 Eletrodos

Geralmente, para união, as composições dos eletrodos são similares às encontradas no metal de base. A composição do metal de enchimento pode ser alterada, suavemente, de modo a compensar perdas que possam ocorrer devido ao arco de soldagem ou para levar à desoxidação do metal de solda. Em alguns casos isto envolve algumas modificações na composição do metal de base. Em certas aplicações, entretanto, a obtenção de características de soldagem satisfatórias e de certas propriedades do metal de solda requer um eletrodo com composição química diferente do metal base. Devido a isto, ligas para o eletrodo são designadas para produzir as propriedades do metal desejadas com as características operacionais aceitáveis (BARRA, 2003).

Mesmo que outras modificações na composição do eletrodo sejam feitas, desoxidantes e limpantes são geralmente adicionados. Isto é feito para reduzir a incidência de porosidade e assegurar a qualidade mecânica da solda. Os desoxidantes mais utilizados são: sílica, manganês e alumínio. Titânio e sílica são os principais desoxidantes usados nos arames de liga de níquel. Arames de ligas de cobre podem utilizar titânio, sílica e fósforo como elementos desoxidantes

Os diâmetros mais comuns dos arames variam entre 0,9 a 1,6 mm. Arames mais finos (0,5 mm) ou mais grossos (3,2 mm) podem ser utilizados. Entretanto, as altas velocidades de alimentação requeridas por arames finos podem inviabilizar o processo (BARRA, 2003).

Quaisquer compostos utilizados na superfície do eletrodo ou do metal de base, tais como lubrificantes, podem afetar a qualidade da solda e, portanto, não devem ser utilizados. Conseqüentemente, os eletrodos devem ser manufaturados com alta qualidade superficial de modo a permitir sua passagem pelo contato elétrico

e prevenir o acúmulo de contaminantes (BARRA, 2003).

Os arames para soldagem “GMAW” são cobertos por várias especificações da AWS. Outras normas também definem especificações especiais. As normas definem requerimentos para tamanho, embalagem, composição química e algumas vezes propriedades mecânicas. As especificações dos eletrodos para soldagem “GMAW” são listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificação para eletrodos para soldagem GMAW (GIMENES; RAMALHO, 2006).

Tipo de Metal Base	Especificação
Aço carbono	A 5.18
Aços de baixa liga	A 5.28
Ligas de alumínio	A 5.10
Ligas de cobre	A 5.7
Magnésio	A 5.19
Ligas de níquel	A 5.14
Aço inoxidável	A 5.9
Titânio	A 5.16

2.7 Gases de proteção

2.7.1 Função

Essencialmente, os gases utilizados na soldagem MIG/MAG têm como função a proteção do material fundido contra elementos da atmosfera que possam comprometer a integridade da solda efetuada. Eles formam uma barreira física contra o acesso de, principalmente, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, reduzindo a susceptibilidade à formação de poros, excesso de óxidos, nitretos, inclusões e trincas a frio, todos prejudiciais à resistência da junta soldada (IRVING, 1994; CHAE, 1999). Para que isso seja conseguido, o fluxo de gás de proteção na ponta da tocha deve ser adequado, evitando o escoamento turbulento, e não deve haver orifícios

que permitam entrada de ar no fluxo. Ambos permitiriam a chegada de ar atmosférico na poça. Na realidade, a importância dos gases utilizados na soldagem MIG/MAG se estende à própria viabilidade de realização do processo, pois deles depende a própria subsistência do arco elétrico de maneira coerente. Ao serem aquecidos e submetidos à tensão entre os eletrodos, os gases se dissociam liberando íons, necessários à formação do plasma e condução da corrente. São enfatizados, neste texto, misturas de argônio (Ar) e dióxido de carbono (CO_2) e o CO_2 puro, que são os gases mais aplicados em problemas como o aqui estudado. Outra função importante assumida pelos gases na soldagem MIG/MAG de aços diz respeito à estabilidade do arco. Gases oxidantes são adicionados para que se forme uma película oxidada sobre a poça fundida, propiciando a chamada estabilização dos pontos catódicos (VAIDYA, 2002; IRVING, 1994). Caso contrário, o arco é alimentado de elétrons advindos das bordas da poça aleatoriamente, o que está relacionado à queda de estabilidade do arco. Este fato é identificado pelo aparecimento de ataque eletroquímico nesta região (VAIDYA, 2002).

2.7.2 Efeitos

Muitas vezes citados como funções dos gases, os efeitos que os mesmos causam no processo não são assim considerados, pois as características do processo e do resultado vão depender não apenas da composição dos gases, mas de toda a configuração do procedimento, incluindo vários outros parâmetros de soldagem.

Para exemplificar o exposto, cita-se o efeito do gás CO_2 de restringir o arco e, conseqüentemente, causar uma redução de área da interface arco-gota, em comparação com outra mistura mais pobre em CO_2 , em regulagens de processo

semelhantes. Este comportamento se deve a maior condutividade térmica do CO_2 , e tende a originar uma força na gota em sentido contrário ao seu destacamento, o que, por sua vez, tende a levar o processo ao modo de transferência por curto-circuito (STENBAKCA, 1989; VAIDYA, 2002). No entanto, não se pode afirmar que é função do CO_2 definir o modo de transferência de determinada solda, pois isso dependerá, principalmente, da variável corrente. Esta força é a razão pela qual também há maior tendência a respingos, conforme o aumento de CO_2 no gás (Figura 12) (MOYER, 2002; IRVING, 1999; DILLENBECK, 1987).

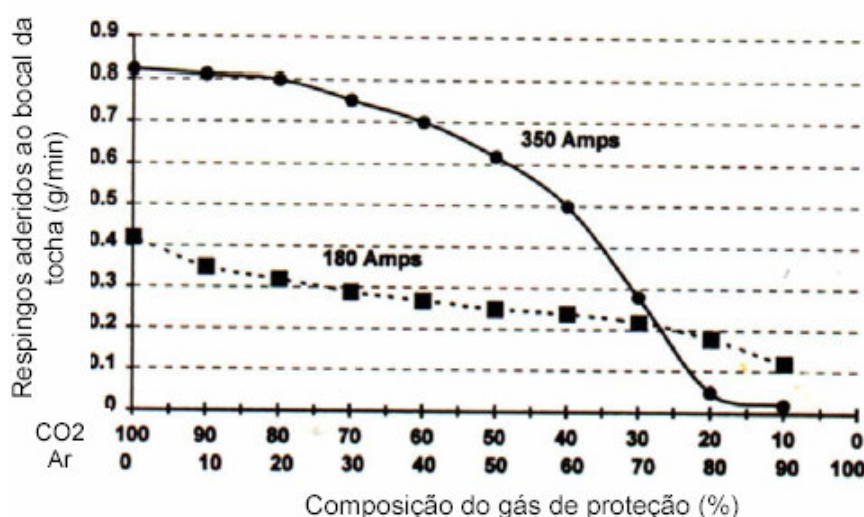


Figura 12 - Redução do nível de respingos com a redução do teor de CO_2 no gás de proteção (IRVING, 1999).

Em se tratando de respingos, existe também o efeito explosivo causado por gases ricos em CO_2 , advindos da formação de gases de oxidação e sua expansão repentina. Este fato contribui para a afirmação de que gases ricos em CO_2 produzem, em geral, pior acabamento da solda e necessidade de limpeza adicional da mesma e, devido à adesão de respingos ao bocal, maior tempo de limpeza deste e maior possibilidade de contaminação da poça, por perturbação no fluxo de gás (STENBAKCA, 1989; CULLISON, 1999; LIU; SIEWERT, 1989; CHAE, 1999).

Em adição ao fornecimento de atmosfera de proteção, o gás e o fluxo de gás produzem efeitos importantes nas seguintes variáveis:

- características do arco;
- modo de transferência;
- penetração e forma do cordão de solda;
- velocidade de soldagem;
- tendência ao trincamento;
- ação de limpeza;
- propriedades mecânicas do metal de solda.

Os principais gases utilizados estão relacionados na Tabela 2, sendo a maioria mistura de gases inertes que podem conter CO_2 .

Tabela 2 - Principais gases utilizados na soldagem (BRACARENSE, 2003)

Gás ou Mistura	Comportamento	Aplicações
Argônio	Inerte	Quase todos os metais, exceto o aço
Hélio	Inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas. Alta penetração
Ar + He (20-50%)	Inerte	Idem He, mas melhor que 100% He
Nitrogênio	-	Cobre (maior energia de soldagem)
Ar + N_2 (20-30%)	-	Idem N_2 , mas melhor que 100% de N_2
Ar + O_2 (1-2%)	Liga oxidante	Aços inoxidáveis e algumas ligas de Cu
Ar + O_2 (3-5%)	Oxidante	Aços carbono e alguns aços de baixa liga
CO_2	Oxidante	Aços carbono e alguns de baixa liga
Ar + CO_2 (20-50%)	Oxidante	Vários aços. Transferência por curto-circuito
Ar + CO_2 + O_2	Oxidante	Vários aços

2.7.3 Gases de proteção inertes

O argônio e hélio são gases inertes. Estes gases puros ou misturas destes gases são utilizados na soldagem de materiais não ferrosos, inoxidáveis, aços

carbono e aços baixa ligas. As principais diferenças entre o argônio e o hélio são a densidade, a condutividade térmica e o potencial de ionização (BRACARENSE, 2003).

O argônio é aproximadamente 1,4 vezes mais denso que o ar, enquanto a densidade do hélio é aproximadamente 0,14 vezes a do ar. O argônio, mais pesado, é mais efetivo na proteção do arco e cobrimento da área de soldagem na posição plana. O Hélio requer aproximadamente 2 ou 3 vezes maiores vazões que o argônio para fornecer proteção igual.

O hélio tem maior condutividade térmica que o argônio e produz um plasma, onde a energia é mais uniformemente distribuída. O plasma do argônio, por outro lado, é caracterizado como tendo uma alta energia no centro e uma baixa energia nas regiões de fora. Essa diferença afeta a forma do cordão de solda. Um arco de solda protegido por hélio produz um cordão de solda profundo, parabólico e largo. Um arco protegido por argônio produz um cordão de solda caracterizado por penetração tipo dedo (BRACARENSE, 2003).

O hélio tem um potencial de ionização maior que o argônio e, conseqüentemente, uma tensão mais alta quando outras variáveis são mantidas constantes. O hélio pode apresentar problemas na iniciação do arco. Arco protegido somente com hélio não forma transferência *spray* em nenhum modo de corrente. Os arcos protegidos com hélio produzem maiores quantidades de respingos e tem acabamento mais áspero do que arcos protegidos com o argônio.

Na transferência por curto-circuito, misturas de argônio com 60 a 90% de hélio são utilizadas para obter altos aportes de calor no metal base para melhores características de fusão. Misturas de argônio com 50 a 75% de hélio aumentam a tensão do arco em relação ao argônio puro. Estes gases são utilizados para

soldagem de alumínio, magnésio, e cobre devido ao seu alto aporte de calor que acaba por reduzir o efeito de altas condutividades térmicas. Proteção de argônio puro pode ser utilizada em muitas aplicações para soldagem de materiais não ferrosos. O uso de hélio puro geralmente é restrito a áreas mais especializadas, devido a sua limitada instabilidade. Entretanto, as características desejáveis encontradas com o hélio (profundidade, largura e formato) podem ser aproveitadas utilizando-se uma mistura de gases de proteção. O resultado é mostrado na Figura 13 que representa um aperfeiçoamento na forma da poça (BRACARENSE, 2003).

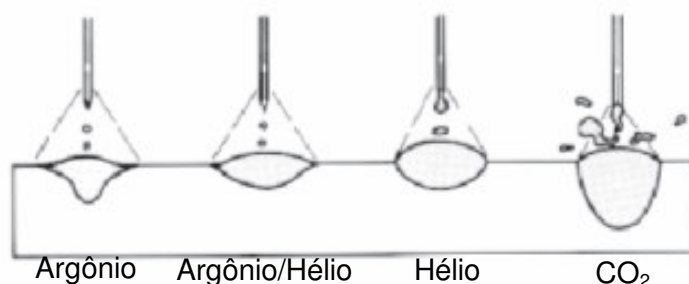


Figura 13 - Contorno e penetração da solda para diversos gases de proteção (BRACARENSE, 2003)

2.7.4 Adições de oxigênio e CO₂ ao argônio e hélio

A proteção do arco por argônio puro causa um arco irregular e uma tendência à trinca de raiz. Adições de pequenas porcentagens de oxigênio ou CO₂ produzem notável melhora na estabilidade do arco e produzem soldas livres de trincas de raiz.

Segundo Linnert (1965), a utilização de argônio puro ou CO₂ produz na solda uma boa penetração. Contudo, a área penetrada, quando se utiliza CO₂ como gás de proteção, é maior comparada com a área conseguida utilizando Argônio puro. Com a mistura desses dois gases, tem um aspecto misto entre os dois perfis dos gases puros, como pode ser visto na Figura 14.

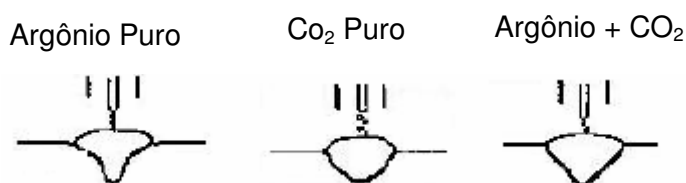


Figura 14 Penetração da área penetrada (BRACARENSE, 2003)

A quantidade ótima de oxigênio ou CO_2 a ser acionada, depende da condição da superfície, geometria da junta, posição ou técnica de soldagem e da composição do metal base. Adições de dióxido de carbono ao argônio podem melhorar a aparência do cordão de solda (Figura 15). Adicionando-se oxigênio ao gás melhora-se a fluidez da poça de fusão, penetração e estabilidade do arco. Oxigênio também diminui a corrente de transição. A tendência à trinca de raiz é reduzida, apesar de considerável oxidação da solda ocorrer, com notável perda de sílica e manganês.

As misturas de Argônio com dióxido de carbono são utilizadas em aços carbono e baixa liga e, em menor extensão, em aços inoxidáveis. Adições de dióxido de carbono aumentam a corrente de transição, aumentam perda de respingos, aumentam a penetração e diminuem a estabilidade do arco. Misturas de Argônio/ CO_2 são primariamente utilizadas em aplicações com transferência de curto-circuito, mas também são utilizadas com *spray* e arco pulsado (BRACARENSE, 2003).

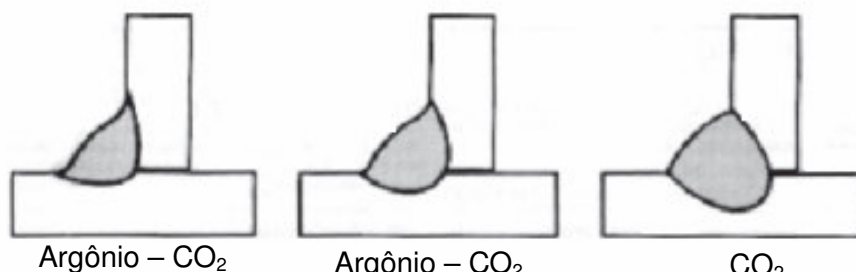


Figura 15 Efeito da adição de oxigênio versus dióxido de carbono à proteção de argônio (BRACARENSE, 2003)

2.7.5 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono é um gás reativo grandemente utilizado, na sua forma

pura, para soldagem em aços carbono e baixa liga. É o único gás reativo utilizado sozinho para proteção de soldas “GMAW”. Altas velocidades de soldagem, grandes penetrações e baixo custo são características gerais que tem encorajado o uso do CO_2 .

A transferência pode ser por curto-circuito ou globular. Com transferência globular, o arco é “rude” com alto nível de respingo, o que exige utilização de práticas de soldagem para minimizar este fator.

Em comparação com proteções ricas em argônio, a proteção com CO_2 produz um cordão com excelente penetração, com superfície áspera e menor “lavagem” nos contornos do cordão devido ao arco restrito.

A utilização de CO_2 puro como gás de proteção apresenta, inicialmente, uma vantagem muito grande em comparação a utilização de gases inertes que é o custo do gás (GIMENES; RAMALHO, 2006).

2.8 Soldagem MAG robotizado

A necessidade em aumentar a produtividade supera a escassez de trabalho qualificado e o aumento crescente das exigências de segurança elevou a demanda pela automação, superando assim, muitos dos problemas do dia a dia da soldagem. Dependendo da necessidade de uma organização, baseado nos processos de soldagem, material, tamanho e geometria do produto o grau de automatização escolhido pode ser maior ou menor (UNB, 2006).

A aceleração da mecanização na soldagem foi sentida realmente pela Indústria a partir de 1950, durante o processo de reconstrução depois da guerra, com os programas de expansão de fábricas na Europa e nos E.U.A., resultando no desenvolvimento de novas técnicas de soldagem, e de um desenvolvimento na

mecanização dos processos da soldagem, seguido pelo desenvolvimento de soldagem remota e de robôs (UNB, 2006).

A soldagem robótica é basicamente uma parte de um sistema automatizado de soldagem, mas é considerado separadamente, já que de todas as novas tecnologias acessíveis, os robôs são um dos tópicos mais interessantes e, por isso, vai-se fazer uma referência especial no seu uso na soldagem. Robôs articulados podem com facilidade simular os movimentos e ações de um ser humano na soldagem e, com certos limites, podem prover uma alternativa aceitável, para substituir homens em tarefas muito monótonas e fatigantes, o que é muito comum nas indústrias de hoje. Um robô pode ser uma solução bem efetiva economicamente para trabalhos de soldagem a arco.

O mais simples robô é um manipulador que pode ser programado. Este manipulador é ativado por atuadores, motores elétricos, e controlado por um computador. A maioria dos robôs, utilizados em soldagem, apresenta movimentos em 5 a 6 eixos, alguns destes eixos são prismáticos (deslizantes), e/ou rotacionais. A combinação de eixos define a utilização do robô. O controlador do robô possui uma memória onde programas podem ser armazenados e, para cada trabalho, o robô pode utilizar um programa diferente e, desta forma, é possível guardar programas e utilizá-los quando necessário (UNB, 2006).

Deste modo, os programas que são criados podem ser armazenados para uso futuro. Esta flexibilidade difere o robô da automatização fixa, que é dedicado a só uma tarefa. Sem dúvida, atualmente, os robôs não podem fazer todo o trabalho feito pelo homem. Onde é necessário soldar materiais desconhecidos ou onde o acesso é muito limitado ou onde não podem ser fixados adequadamente os componentes a ser soldados, o uso de um robô é limitado. Há muitas limitações,

onde um sistema de robô põe em prova seu custo. Assim, a soldagem robotizada não só é um assunto que relaciona a eletrônica de controle, com todo o pacote de soldagem, mas executa uma fabricação com precisão, usando equipamento de manipulação da peça e opera dentro de faixas muito exigentes de qualidade (UNB, 2006).

2.9 Descontinuidades estruturais em solda “GMAW”

Denomina-se descontinuidade a qualquer interrupção da estrutura típica do material, que signifique falta de homogeneidade nas características mecânicas, metalúrgicas ou físicas da junta soldada (MODENESI, 2001).

As descontinuidades podem ser classificadas quanto à origem e a forma. Com relação à origem, as descontinuidades podem ser geométricas (operacionais) e metalúrgicas. Com relação à forma, as descontinuidades podem ser planas e volumétricas.

É interessante notar que as descontinuidades geométricas geralmente são planas, enquanto as descontinuidades metalúrgicas podem ser planar ou geométricas (MODENESI, 2001).

As descontinuidades são detectadas por ensaios não destrutivos após a soldagem. A escolha dos ensaios não destrutivos está relacionada às características das descontinuidades. Assim, uma descontinuidade volumétrica pode ser melhor detectada por um ensaio radiográfico, enquanto que para uma descontinuidade plana prefere-se o ensaio ultra-sônico. Descontinuidades que atingem um tamanho crítico, determinado pela norma de inspeção, são consideradas defeitos e devem ser reparadas.

As discontinuidades geométricas são geradas na etapa de montagem e de soldagem. Os exemplos mais comuns são falta de fusão, falta de penetração e mordedura, citam-se também desalinhamento, superposição, deposição insuficiente.

As discontinuidades metalúrgicas são originadas por algum fenômeno metalúrgico presente na poça de fusão como o refino, a desoxidação, a degaseificação e as transformações de fase no estado sólido, estas tanto na zona fundida quanto na zona afetada pelo calor (MODENESI, 2001).

As discontinuidades metalúrgicas mais comuns são a porosidade, a trinca de soldificação e a trinca a frio induzida por hidrogênio.

2.9.1 – Respingos de solda

O processo de soldagem “GMAW” é uma fusão localizada que ocorre sob uma atmosfera protegida. Em um processo, com o balanço de energia adequado para a fusão, toda a energia que se coloca no sistema é consumida para aquecer e fundir o metal e, como este não reage com a atmosfera, é uma fusão tranqüila e sem grandes agitações (RAMALHO, 2006).

O respingo (Figura 16), é um indicativo de que o balanço de energia está sendo positivo, ou seja, está colocando energia demais no sistema, de modo que o material funde e ainda ocorre agitação na poça de fusão, agitação esta suficiente para fazer com que algumas gotas de metal líquido pulem para fora da poça de fusão.

Partindo deste princípio, para diminuir ou eliminar os respingos é necessário diminuir a energia do sistema. O primeiro ponto é o correto ajuste dos parâmetros de soldagem, pois estes afetam diretamente a energia imposta (RAMALHO, 2006).

Além disto, o processo é sob atmosfera controlada, ou seja, se por algum motivo esta atmosfera protetora não isola 100% da atmosfera externa, tem-se oxigênio do ar participando da fusão e com isso, energia gerada pela reação química causada por este gás. Então deve-se verificar a vazão do gás para ver se esta propicia uma cobertura adequada (algo como 10 a 15 litros por minuto checados na tocha e não na saída do regulador).

Outra causa pode ser a condição da superfície a ser soldada, no tocante a óxidos e gorduras, como graxas e óleos. De nada adianta proteção atmosférica adequada, se o local tem a presença de gorduras (que são hidrocarbonetos e vão se decompor na temperatura da soldagem, aumentando a energia do sistema).

Ajustando os parâmetros, o gás e as condições da chapa, ainda resta a inclinação da tocha que, se for demasiada acabará arrastando ar atmosférico para dentro da poça de fusão. Para isto, deve-se manter a tocha com uma inclinação máxima de 20 graus.

Como é impossível na prática, fazer um balanço energético 100% perfeito, é inevitável a ocorrência de um ou outro respingo. Deve-se atentar apenas com os de dimensão maior que 0,8mm de diâmetro, pois os respingos menores que isto, não tem massa suficiente para aderir a superfície, e quando o fazem, destacam-se com facilidade (RAMALHO, 2006).

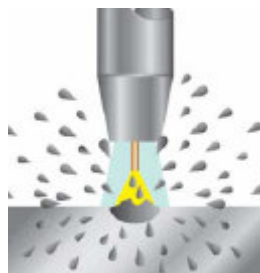


Figura 16 – Respingos de solda (INFOSOLDA, 2006)

2.9.2 – Cordão de solda deslocado

Esta é uma descontinuidade geométrica originada normalmente em processos automatizados, onde existe um dispositivo que acomoda os componentes nos lugares especificados a serem soldados.

Caso o componente estiver mal fixado, ou desalinhado no dispositivo, assim que for acionado o robô, este direcionará a tocha para os parâmetros especificados, não direcionando para o local exato para união dos componentes, o que resultará em um cordão fora dos componentes, ou apenas em um componente.

2.9.3 - Falta de penetração

O termo refere-se à falha em se fundir e encher completamente a raiz da junta. A falta de penetração conforme Figura 17, é causada por diversos fatores, destacando-se a manipulação incorreta do eletrodo, um projeto inadequado da junta (ângulo de chanfro ou abertura da raiz pequenos) ou, alternativamente, a escolha de um eletrodo muito grande para um dado chanfro (em ambos os casos, torna-se difícil, ou impossível, direcionar o arco para a raiz da junta) e o uso de uma baixa energia de soldagem. Falta de penetração causa a redução da seção útil da solda além de ser um concentrador de tensões (MODENESI, 2001).

Deve-se ressaltar que, freqüentemente, juntas são especificadas para terem penetração parcial. Nesses casos, a falta de penetração, desde que mantida nos limites especificados não é considerada como um defeito de soldagem (MODENESI, 2001).

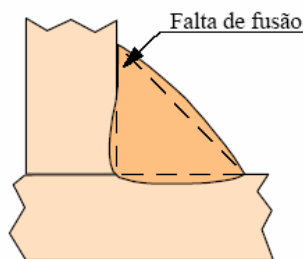


Figura 17 – Falta de penetração (MODENESI, 2001)

2.9.4 – Furo da raiz (chapa furada)

Consiste na abertura de um buraco do material base, ou seja, quando o arco elétrico abre apenas para um dos componentes a serem soldados.

Para que o furo na raiz aconteça, existem duas possibilidades:

Uma delas é na união de dois componentes e, para isso acontecer, são definidos parâmetros mais altos (corrente de soldagem) e a tocha se direciona para apenas um dos componentes, então, conseqüentemente, obtém-se o furo da raiz.

Outra maneira de acontecer é na velocidade de soldagem muito baixa, o que propicia um acúmulo de material e calor em apenas um local, obtendo-se o furo.

2.9.5 Porosidade

A porosidade consiste em poros de gás que podem ser encontrados na superfície ou no interior do cordão de solda solidificado. Como está ilustrado na Figura 18, esses poros podem variar em tamanho e são geralmente distribuídos numa forma aleatória. Entretanto, também é possível que a porosidade seja encontrada apenas no centro da solda (CARAN, 2004).



Figura 18 – Porosidade (INFOSOLDA, 2006)

As causas mais comuns da porosidade são a contaminação atmosférica, excesso de oxidação nas superfícies das peças a serem soldadas, elementos de liga desoxidantes inadequados no arame e a presença de sujeira. A contaminação atmosférica pode ser causada por:

- vazão de gás de proteção insuficiente;
- vazão de gás de proteção excessiva, que pode causar aspiração de ar para dentro do fluxo do gás de proteção;
- bocais obstruídos ou sistema de fornecimento de gás danificado (mangueiras e conexões com vazamentos, etc.);
- correntes de ar excessivas na área da soldagem, que podem arrastar o gás de proteção da região da poça de fusão (CARAN, 2004).

O excesso de nitrogênio e oxigênio presentes nos gases atmosféricos são responsáveis pela porosidade no aço. No entanto, uma quantidade considerável de oxigênio pode ser tolerada sem gerar porosidade na ausência do nitrogênio. O oxigênio na atmosfera pode causar problemas graves com o alumínio por causa da rápida formação de óxidos. A vazão de gás deve ser inspecionada a intervalos regulares para assegurar que esteja livre de vazamentos.

Adicionalmente, a umidade excessiva na atmosfera pode causar porosidade no aço e, particularmente, no alumínio. Sob climas úmidos deve ser tomado um cuidado especial. Por exemplo, tochas resfriadas continuamente à água podem apresentar condensação durante os períodos de alta umidade e, conseqüentemente, contaminar o gás de proteção (CARAN, 2004).

A oxidação excessiva das peças é uma fonte óbvia de oxigênio, bem como a umidade aprisionada, particularmente para o alumínio. Revestimentos anodizados no alumínio devem ser removidos antes da soldagem porque podem conter água, bem como atuar como isolantes.

A porosidade pode também ser causada por uma desoxidação inadequada do arame de solda durante a soldagem de aços semiacalmados ou efervescentes. O oxigênio no aço pode causar porosidade por monóxido de carbono (CO) se os elementos desoxidantes adequados não estiverem presentes.

A sujeira orgânica pode ser uma fonte de porosidade. Um exemplo é o lubrificante excessivo no arame de solda. Esses hidrocarbonetos são fontes de hidrogênio, que é especialmente prejudicial ao alumínio (CARAN, 2004).

Outras causas de porosidade podem ser taxas de solidificação da solda extremamente altas e características de arco errático. Quando as taxas de solidificação são muito altas, qualquer gás que normalmente escaparia fica aprisionado. Devem ser evitados velocidades de soldagem muito altas e valores de corrente muito baixos. Características de arco errático podem ser causadas por condições de soldagem ruins (tensão muito baixa ou muito alta, transferência de metal ruim) e variação na velocidade de alimentação do arame.

Todas essas ocorrências causam uma turbulência violenta na poça de fusão, que tende a romper a envoltória do gás de proteção e provocar a contaminação da poça de fusão pela atmosfera (CARAN, 2004).

2.10 O conceito da qualidade

Ao longo das últimas décadas a função “qualidade” tem sido definida de diversas formas, entre elas podem-se destacar: adequação ao objetivo ou ao uso (JURAN, 1991); totalidade de formas e características de um produto ou serviço que tem em sua atribuição satisfazer necessidades estabelecidas ou implícitas (NBR ISO 9001:2000); grau de conformidade com as especificações (BANKS, 1989); satisfação do cliente (DEMING, 1975); grau de adequação de um item ou serviço à finalidade a que se destina (BANKS, 1989).

São muitas definições e, entre aquelas que foram citadas, todas, com exceção da definição de Deming, relacionam o termo qualidade à conformidade do produto às suas especificações. Entretanto, mais importante do que as definições é o real entendimento do seu significado. Porém, mais importante ainda é entender como essa função tem evoluído ao longo dos últimos anos e assim poder vislumbrar os desdobramentos futuros.

Os conceitos relacionados com o termo qualidade, como se conhece hoje, tiveram suas origens associadas às atividades de controle da qualidade. Controle da qualidade é um conjunto de ações ou medidas desenvolvidas com o objetivo de assegurar que os serviços ou produtos gerados atendam aos requisitos segundo os quais foram especificados. A Norma ISO TS 16949:2002 define Controle da Qualidade como sendo parte da gestão da qualidade focada no atendimento dos requisitos da qualidade (ISO TS 16949,2002).

Avaliar os resultados das ações, com o objetivo de verificar se os mesmos estão em conformidade com as expectativas, faz parte da natureza do homem. Assim, no sentido lato, pode-se dizer que o controle da qualidade remonta aos primórdios da civilização humana. Não se pode precisar, no tempo, quando foi que o controle da qualidade começou a ser utilizado de forma sistemática, de modo a assegurar que os resultados das ações empreendidas viessem a atender aos requisitos dos projetos na forma como foram concebidos. Entretanto, a perfeição das obras remanescentes das civilizações grega, romana, egípcia, chinesa e outras, sob a forma de templos, termas, pirâmides, muralhas, etc., nos permite assegurar que alguma forma de controle devia ser por eles empregada.

Os registros históricos mostram que, até o final do século XVIII, antes do início da era industrial, os empreendimentos eram, na sua maioria, de natureza individual ou familiar e cada um definia e controlava a qualidade dos produtos ou serviços que gerava. Curiosamente, esta é uma postura muito atual. Hoje, no que se refere a garantia da qualidade, cada um é responsável pela verificação da qualidade do que faz.

A diferença entre um profissional do final do século XVIII e um dos anos 90, está na forma, do entendimento do conceito de qualidade. Para o profissional do século XVIII a qualidade estava relacionada ao atendimento às especificações do produto, especificações estas quase sempre ditadas por ele mesmo. Ele definia o que deveria ser qualidade, produzia e, eventualmente, quase sempre sem uma programação específica, inspecionava o produto para verificar se estava de acordo as suas especificações. Hoje, a qualidade é definida pelo cliente e transcende os parâmetros dos produtos, contemplando aspectos relacionados com o meio ambiente e com as relações humanas. Hoje, a função qualidade e o termo cliente

devem ser entendidos de forma abrangente e devem ser estendidos, também, para as relações profissionais, sociais e familiares (DEMING, 1975).

No que se refere ao setor produtivo, cabe também ao profissional dos anos 90 produzir e controlar a qualidade daquilo que ele faz. Entretanto, o controle da qualidade por ele exercido é feito de forma sistematizada; é planejado de forma a cobrir todas as fases do processo e, tem por objetivo, assegurar que as necessidades do seu cliente vão ser atendidas. Não se trata mais apenas de uma inspeção final para verificar se o produto tem ou não defeitos de fabricação.

Para que se possa entender melhor o que está se descortinando no futuro em termos de qualidade, deve-se voltar um pouco no tempo e observar os caminhos que conduziram ao ponto em que se encontra hoje.

2.11 A história da qualidade

Não se pode dizer que a sociedade, até o início do século XIX, encontrava-se totalmente sem estruturas organizacionais orientadas para o controle da qualidade. Registra-se, no decorrer da idade média, intensas atividades de associações de artesãos, estabelecendo padrões que visavam proteger os ganhos econômicos, sociais e políticos de seus associados, além de regular a economia. Para alcançar esses objetivos, essas associações desenvolveram intensos e importantes trabalhos, estabelecendo salários, condições de trabalho e especificações para matérias-primas e produtos acabados (BANKS, 1989).

Entre 1900 e 1930, com o advento da era industrial, pressionados pela crescente concorrência e pela maior complexidade dos processos, iniciou-se uma nova fase para o controle da qualidade. Essa foi a era da inspeção. No início, as

inspeções eram feitas no produto acabado e tinham por objetivo evitar que itens defeituosos chegassem ao consumidor. Nenhuma técnica estatística era usada.

No final dos anos 20, como decorrência da crescente complexidade dos processos e da maior concorrência do mercado, iniciou-se a utilização de técnicas estatísticas para o controle dos produtos. Em 1924, foi criado o *Inspection Engineering Department of the Western Electric's Bell Telephone Laboratories*, do qual foram membros personalidades como R. B. Miller, G. D. Peterson, H. F. Dodge, G. D. Edwards, P. S. Olmstead, M. N. Torrey e outros, aos quais se deve importantes trabalhos pioneiros de desenvolvimento de teorias e métodos de controle da qualidade, incluindo critérios para seleção e amostragem. A primeira carta de controle da qual se tem registro foi desenvolvida por Shewhart em 1924 e ficou conhecida como “Carta de Controle de Shewhart” (BANKS, 1989).

Entre 1930 e 1940, o uso da estatística como ferramenta para o controle da qualidade se consolidou como técnica. Destaca-se nesse período os trabalhos do *Joint Committee for the Development of Statistical Applications in Engineering and Manufacturing*, presidido por Shewhart e apoiado pela *American Society for Testing Materials* (ASTM), *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), *American Mathematical Society* (AMS), *American Statistical Association* (ASA), *Institute of Mathematical Statistics* (IMS) e o *American Institute of Electrical Engineers* (AIEE).

Na década de 40, o uso da estatística como ferramenta para o controle da qualidade se consolidou como prática indispensável, principalmente devido às condições impostas pela economia de guerra. A necessidade de massificar a produção levou a uma inevitável deterioração da qualidade dos produtos (DEMING, 1975). Esse fato obrigou o sistema produtivo a utilizar, em escala sem precedentes, as técnicas estatísticas que já haviam sido desenvolvidas para o controle de

produtos. Nesse período, intensivos programas de treinamento, orientados para a utilização destas técnicas, foram implementados, com os objetivos de: minimizar perdas, reduzir o custo de produção e, principalmente, assegurar a qualidade dos produtos. Nesse período, as forças armadas dos Estados Unidos e dos países aliados desempenharam um papel importantíssimo no desenvolvimento de novas técnicas estatísticas, na pesquisa de novas teorias de controle, na implementação de programas de controle da qualidade e, principalmente, no estabelecimento de padrões. Os trabalhos de desenvolvimento de técnicas estatísticas, aplicadas ao controle da qualidade, eram considerados estratégicos e mantidos sob sigilo. De 1950 a 1960, as forças armadas dos países aliados, principalmente devido a guerra fria, demandavam contínuos e intensos programas de desenvolvimentos na área da indústria bélica e continuaram sendo os principais impulsionadores do desenvolvimento da área de controle da qualidade (ISHIKAWA, 1976).

Na década de 50, a crescente sofisticação e poder de destruição dos artefatos de guerra, demandavam, cada vez mais, níveis mais elevados de segurança. Deste modo, nesse período, os principais esforços foram orientados para o estabelecimento de novos padrões. Nessa década, o controle da qualidade deixou de focar o produto e passou a orientar-se para o processo, o que, do ponto de vista estratégico, representou um passo importantíssimo. Na verdade, os itens defeituosos são conseqüências de falhas do processo. Se o processo é “capaz” e se está sendo devidamente controlado, os produtos gerados devem estar em conformidade com as suas especificações, e portanto, sem defeitos. Outro fato marcante com relação a evolução do conceito do termo “qualidade”, ocorrido na década de 50, foi o início da “jornada” japonesa rumo a industrialização. Deming, que havia participado ativamente do programa americano de mobilização para a

qualidade, durante a década de 40, foi para o Japão e, juntamente com Juran e Ishikawa, tornou-se responsável pela disseminação dos conceitos de controle da qualidade naquele país (ISHIKAWA, 1976).

Nos anos 60, consolidou-se o uso prático da estatística como ferramenta para o controle de processo. A aplicação de técnicas de controle estatístico de processo (CEP) proporcionou benefícios incalculáveis para os sistemas produtivos e levou Feigenbaum (1983) a estabelecer as bases para a implantação dos conceitos do controle da qualidade total (*Total Quality Control*, TQC). O parque industrial japonês, ainda infante, serviu de palco para a implementação destes conceitos, na década seguinte.

A evolução do Controle Estatístico de Processo para TQC, foi um desdobramento natural e consolidou-se como um dos mais importantes desdobramentos do melhor entendimento da abrangência da função qualidade. O reconhecimento de que a qualidade do produto final depende da qualidade com que são conduzidos todos os processos críticos que lhe dão origem, desde a seleção dos fornecedores até a sua expedição, levou ao entendimento de que só o adequado controle de todos esses processos poderia assegurar a conformidade do produto às suas especificações. O passo seguinte foi reconhecer a necessidade de um “Sistema de Gestão” para assegurar a conformidade de todas as variáveis de todos os processos dos quais dependem o produto. Deste modo, na década de 70, foram lançadas as bases para a implantação dos conceitos de gestão da qualidade total (*Total Quality Management*, TQM). Outro fato igualmente importante para a evolução do controle da qualidade, ocorrido no final da década de 70, foi a criação do Comitê Técnico 176 (TC-176), pela International Organization for Standardization (ISO), cujos trabalhos levaram à elaboração das Normas ISO série 9000, aprovadas

em 1987 como NBR ISO 9000-1/94, 9001/94, 9002/94, 9003/94 e 9004-1/94. Na elaboração das Normas ISO série 9000 o TC-176 apoiou-se, principalmente, em normas militares do Canadá (CZ 299), dos Estados Unidos (MIL-Q-9858 e MIL-I-45209), da OTAN (AOQP 1, AOQP 4 e AOQP 9) e do Reino Unido (DEF. STAN 05/21, DEF. STAN 05/24 e DEF. STAN 05/29), todas utilizadas nas relações contratuais entre clientes e fornecedores (BANKS, 1989).

2.12 O uso das ferramentas gerenciais

O sucesso na utilização das ferramentas gerenciais está diretamente ligado à disponibilidade, acesso, registro, qualidade da informação e envolvimento de todos na organização. O uso da informação para controle e avaliação dos resultados ao final de cada processo, associado à autonomia dada aos funcionários para a tomada de decisão, com base no uso de ferramentas gerenciais, gera agilidade no processo produtivo através da solução rápida de problemas e comparação de resultados, podendo modificar ou confirmar os objetivos e os recursos empregados ao longo do processo. Desse modo, as ferramentas gerenciais, aliadas à informação, passam a ser parte integrante do processo de administração estratégica (PONGELUPPE, 2002).

A tarefa de controle e avaliação de resultados não deve ser realizada como uma avaliação estática, afinal é um processo que deve ser executado de forma contínua, durante cada tarefa, utilizando as modernas técnicas de gestão. O ser humano é que gera qualidade, no ato da realização das suas ações e não mais, como era no conceito antigo, deixar a cargo de uma área de “controle” e verificar a qualidade dos serviços/produtos decorrentes de cada tarefa (CASSARRO, 1999).

A preocupação com a garantia de fornecer produtos de qualidade e sem defeitos é constante para todos fornecedores de produtos e serviços e, cada vez mais, o cliente espera um produto confiável, que apresente um nível de desempenho especificado com alta durabilidade e baixo índice de falhas. Visando garantir o aumento de confiabilidade e prevenir problemas, surge um novo enfoque de qualidade voltado à conformidade e que tem como objetivo a solução de problemas encontrados ao longo do processo produtivo. Para isso, os métodos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) e Diagrama de Ishikawa são utilizados para buscar as causas fundamentais desses problemas (HELMAN, 1995).

2.13 Diagrama de causa e efeito de Ishikawa

Uma forma de levantamento de sintomas na etapa de Análise de Situação Atual é a construção de diagramas de causa-efeito de Ishikawa (FREITAS, 2000).

Este diagrama (Figura 19), originalmente proposto por Kaoru Ishikawa na década de 60, já foi bastante utilizado em ambientes industriais para a localização de causas de dispersão de qualidade no produto e no processo de produção. Ele é uma ferramenta gráfica utilizada para explorar e representar opiniões a respeito de fontes de variações em qualidade de processo, mas que pode perfeitamente ser utilizada para a análise de problemas organizacionais genéricos.

A utilização deste diagrama é funcional em situações onde existe um grande efeito indesejável bem localizado e consensuado pelos elementos da organização.

Ele é utilizado para a identificação de direcionadores, ou *drivers*, que potencialmente levam ao efeito indesejável. Ele é uma ferramenta analítica que, utilizada por um grupo de projeto, parte de um "problema de interesse" e possibilita a

ocorrência de um "*brainstorm*" no sentido de identificar as causas possíveis para o problema.

Entende-se que o conceito de causa-raiz não é propriamente expresso no diagrama de causa-e-efeito. O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta poderosa para a identificação dos direcionadores que potencialmente causam os efeitos indesejáveis. Estes direcionadores, por sua vez, também podem ser originados por outras causas-raizes (FREITAS, 2000).

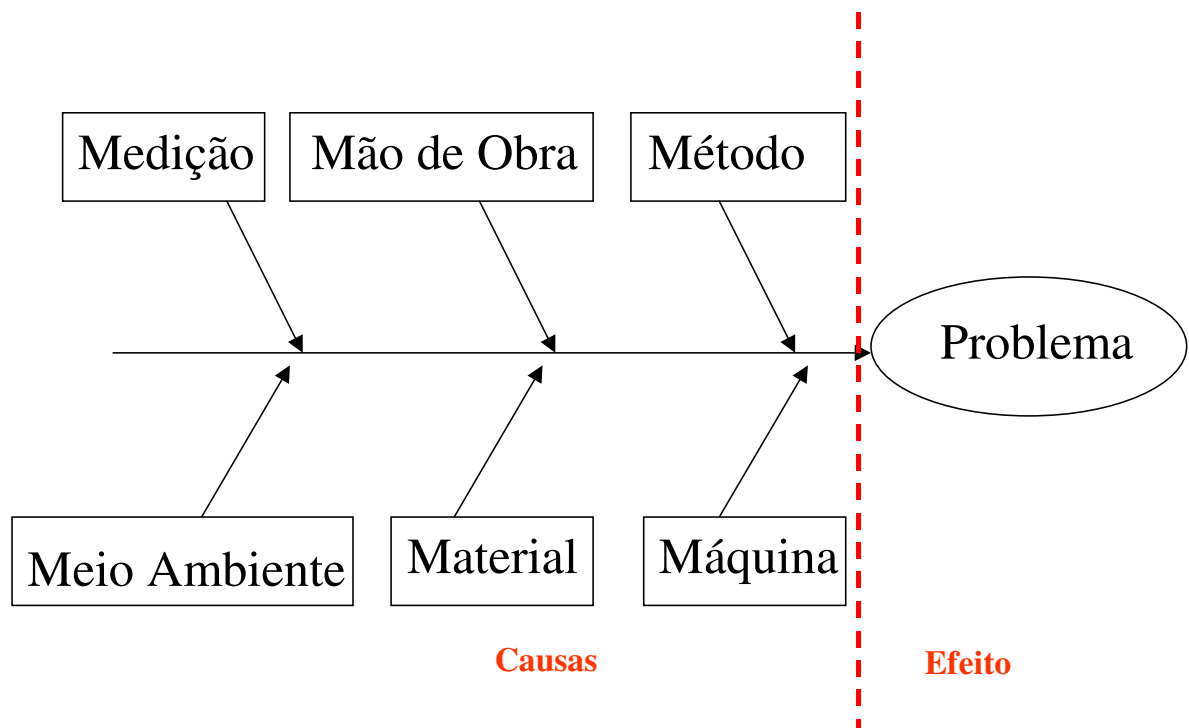


Figura 19 - Diagrama de causa-e-efeito de Ishikawa (FREITAS, 2000)

3 PROPOSIÇÃO

O presente trabalho interdisciplinar buscou analisar qualitativamente e quantitativamente as possíveis causas dos problemas de soldagem “GMAW” robotizada dos ganchos no quadro auxiliar que fixa as bandejas e a caixa de direção dos automóveis, com o auxílio da ferramenta da qualidade “Diagrama de Ishikawa”, apoiado por análises laboratoriais de metalografia, proporcionando as soluções desses problemas.

4- METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1- Materiais

Para a montagem dos quadros auxiliares foram utilizados chapas de aço com espessura de 2,25 mm, de acordo com a norma NBR 5906 EPA (norma referente ao material). Também foram utilizados componentes chamado “Gancho maciço” com diâmetro de 12 mm, de acordo com a norma DIN EN 10277-2 (norma referente ao material), com propriedades mecânicas e composição química especificados, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades físico - químicas especificados e utilizados dos componentes do quadro auxiliar (MIRON, 2007)

ANÁLISE	DESCRIÇÃO	MP	PROPRIEDADES MECÂNICAS			COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)					
			LE (MPa)	LR (MPa)	Along. (%) BM=50 mm	C	Mn	Si	P	S	Al
Especificado	NBR 5906 EPA	Chapa	300 máx.	410 máx.	30 mín.	0,10 máx.	0,45 máx.	---	0,030 máx.	0,030 máx.	0,020 mín.
Encontrado			252	321	31	0,08	0,31	---	0,015	0,018	0,025
Especificado	DIN EN 10277-2	Gancho	430 a 730	300 Min	9 mín.	0,07 a 0,13	0,3 a 0,6	0,4 máx.	0,045 máx.	0,045 máx.	---
Encontrado			544	389	12	0,09	0,4	0,3	0,028	0,031	---

Para a soldagem da montagem do quadro auxiliar foi utilizado o processo “GMAW” robotizado, usando um material de adição em arame de aço maciço, cobreado com diâmetro de 1,0 mm. A mistura do gás de proteção foi na proporção de 80% Ar + 20% CO₂.

Para a soldagem das amostras analisadas foi utilizado um robô da marca ABB de especificação IRB 2400/10 M98A (Figura 20), e uma mesa giratória IRBP 250R da ABB, conforme Figura 21.

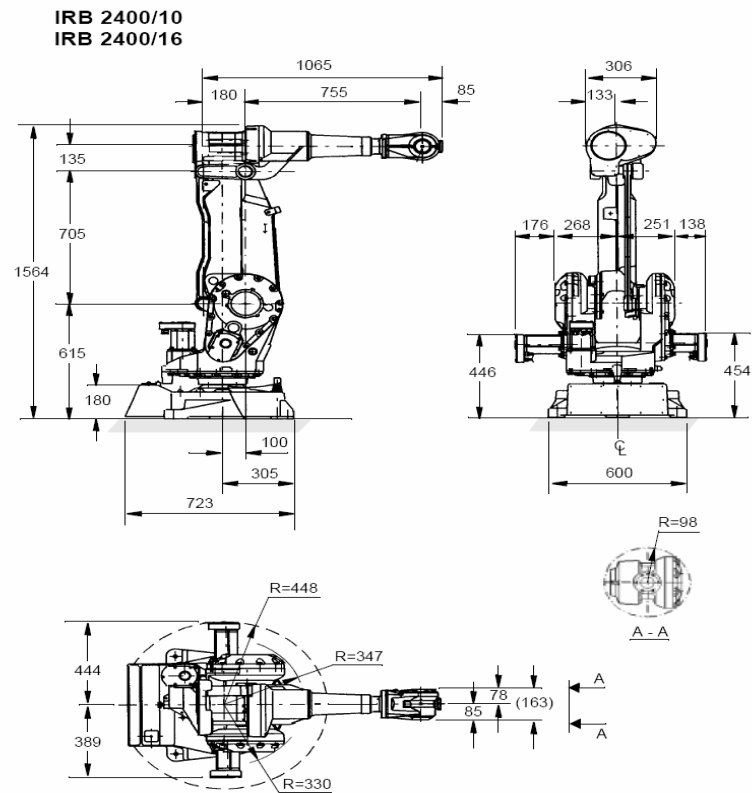


Figura 20 – Desenho do robô da marca ABB (ABB, IRB 2400)

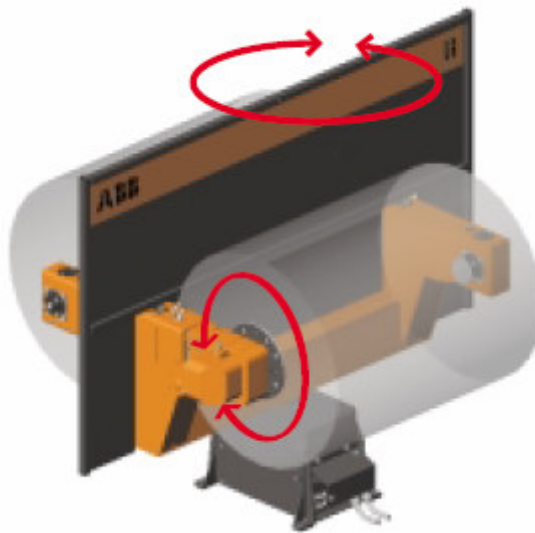


Figura 21 – Mesa giratória da marca ABB (ABB, 2002)

4.2- Métodos

Para a fabricação dos quadros auxiliares na empresa Metalbages do Brasil Ltda, foi utilizado um procedimento de soldagem de “GMAW” robotizada, onde necessariamente posiciona-se a peça no dispositivo com os 2 ganchos. Em seguida, o robô é acionado, o qual trava as peças na posição devidamente gabaritada por intermédio de grampos pneumáticos, e executa-se dois cordões de solda para cada gancho. Essa operação não exige qualquer tipo de preparação das superfícies antes do processo de soldagem, conforme mostra a Figura 22.

Para a realização da soldagem, foram fixados os seguintes parâmetros: a corrente 280 A, a voltagem 25,5 V, a velocidade de soldagem 16,5 m/min, e o controle de gás para 12 l/min.

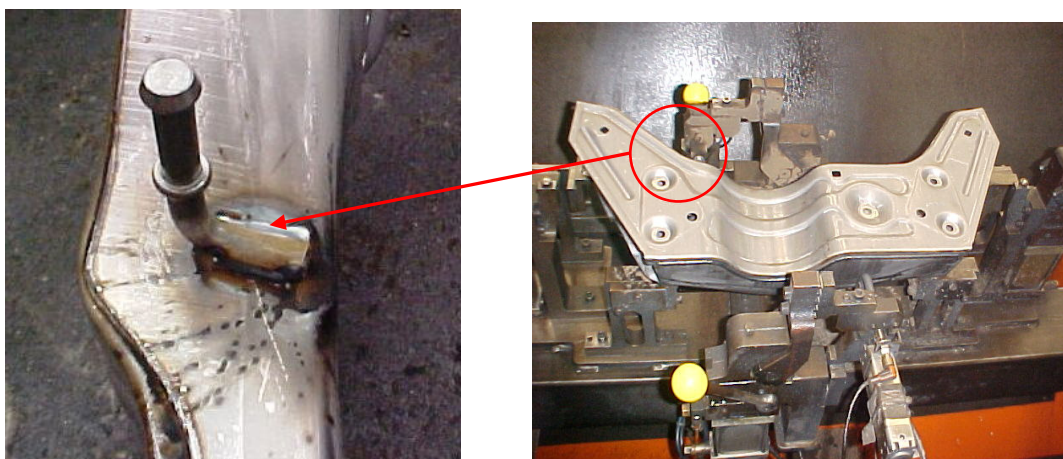


Figura 22 – Dispositivo de solda com a peça posicionada (MIRON, 2007)

Foi utilizado para análise das amostras, os recursos do laboratório metalúrgico da empresa Metalbages, bem como as especificações contidas na norma VW 01106 de julho 2004.

A separação das amostras foi executada após um acompanhamento de produção, totalizando 15.996 peças. Foi criada uma tabela geral dos defeitos de soldagem. Para a análise das possíveis causas foi utilizado o diagrama de Ishikawa.

O diagrama de Ishikawa é dividido em 6M (método, mão-de-obra, máquina, meio ambiente, medição e matéria-prima).

Para as possíveis causas da matéria-prima incluíram-se as possíveis causas que geraram o problema do ponto de vista da matéria-prima utilizadas na elaboração de um produto. Por exemplo, causas devidos a composição química, ao comportamento mecânico, etc.

Para as possíveis causas da máquina se agrupam os fatores relacionados com o processo de transformação das matérias primas, como nas máquinas de solda, dispositivos, ferramentas utilizadas, efeitos das manutenções, eficiência das máquinas e qualidade dos dispositivos.

Para as possíveis causas devido ao método, registram-se as causas relacionadas com a forma de operar a máquina e o método de trabalho.

Para as possíveis causas devido a mão-de-obra são incluídos os fatores que possam gerar o problema do ponto de vista do fator humano. Por exemplo, falta de experiência do pessoal, grau de treinamento, criatividade, motivação, experiência, habilidade, estado de espírito, etc.

Para as possíveis causas devido ao meio ambiente são incluídas as causas que podem vir de fatores externos como contaminação, temperatura do ambiente, altitude da cidade, umidade, atmosfera de trabalho, etc.

Para as possíveis causas devido a medição são incluídas as causas relacionadas ao sistema de medição, como por exemplo: sistema de medição inadequados, equipamentos não calibrados, erros na leitura do equipamento, etc.

4.3 - Metalografia: preparação de amostras e análise qualitativa

A preparação das amostras para análise metalográfica para determinação das características da solda será descrita a seguir:

4.3.1 - Corte

Foi utilizado uma cortadora com disco abrasivo de SiC para cortes de materiais e refrigeração na superfície a ser analisada. A escolha da secção de corte foi a transversal (CARAM, 2004).

4.3.2 - Lixamento

As amostras foram lixadas gradativamente na seqüência de lixas com granulometria cada vez mais fina: #220, #320, #400, #600 e #1000. Em cada lixa, a amostra deve ser passada no mesmo sentido, sendo que na lixa seguinte, deve-se alternar em 90° o sentido de lixamento, como mostra a Figura 23. O tempo de lixamento em cada lixa é o tempo suficiente para que desapareçam os riscos deixados pela lixa anterior. Finalmente, segue-se uma lavagem cuidadosa, geralmente uma limpeza com ultra-som e secagem (CARAM, 2004).

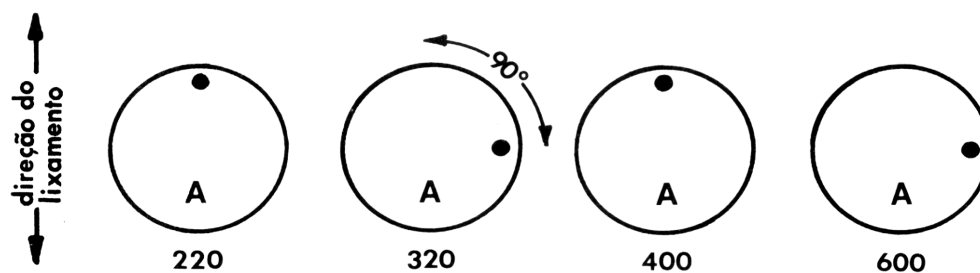


Figura 23 - Rotação da amostra a cada mudança de lixa (CARAM, 2004)

4.3.3- Polimento

O polimento foi realizado em politrizes mecânicas com panos, abrasivos especiais e lubrificantes:

a) Polimento grosso: Pano de nylon, pasta de diamante de 6 μm e lubrificante especial para polimento ou álcool. A superfície da amostra é passada em todos os sentidos até que todos os riscos de lixa sejam eliminados e a superfície comece a se tornar espelhada. Lavagem cuidadosa (usualmente em ultra-som) e secagem.

b) Polimento final: Pano macio (tipo camurça) e pasta de diamante 1 μm . A amostra é passada em todos os sentidos, diminuindo a pressão no estágio final, durante o tempo necessário para eliminar todos os riscos do polimento grosso e ficar ainda mais espelhada. Lavagem final ainda mais cuidadosa, limpeza em ultra-som para eliminar resíduos e secagem após passar por álcool ou acetona utilizando ar quente. Neste estágio, a amostra não deve ficar com manchas de secagem.

4.3.4- Ataque químico

O ataque químico foi realizado para revelar ou realçar detalhes da microestrutura. Cada material necessita de um determinado tipo de ataque químico para revelar os detalhes de sua microestrutura ou os defeitos. Muitas vezes, faz-se necessária uma consulta bibliográfica para a escolha mais adequada dos reagentes.

No caso específico da presente análise, foi utilizado nital 3% (3% ácido nítrico e 97% álcool etílico) com tempo de exposição ao ataque de cinco segundos. Efetuou-se uma lavagem em água corrente para eliminar resíduos do ataque, lavagem em álcool ou acetona e secagem em ar quente (CAMARGO, 2006).

4.3.5- Análise qualitativa

Para análise qualitativa da solda foi utilizado um microscópio metalográfico, marca Olympus, modelo SZ-CTV, ampliação de 11x (Figura 24) .

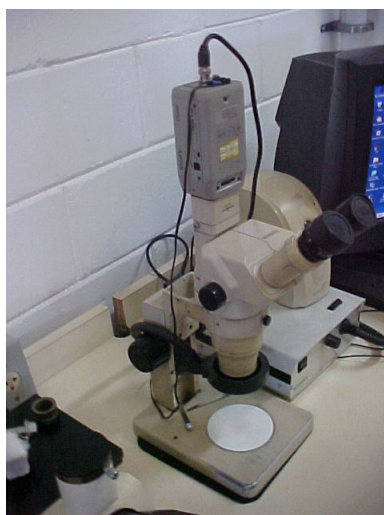


Figura 24 – Estereoscópio da marca Olympus

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Resumo da quantidade de defeitos no processo de soldagem robotizado

As peças apresentaram problemas de soldagem, tais como: respingo, solda deslocada, falta de penetração, chapa perfurada e porosidade, onde foram contabilizadas em uma tabela.

A Tabela 4 representa um resumo da quantidade total dos defeitos encontrados no processo de soldagem “GMAW” robotizado da fabricação do quadro auxiliar para um período de 60 dias.

Tabela 4 – Quantidade de defeitos no processo de soldagem

Turno	Respingo		Solda Deslocada		Falta Penetração		Chapa Furada		Porosidade	
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
Período										
15	2.000	2.000	31	47	0	4	0	4	3	6
30	4.000	4.000	28	42	11	9	5	0	0	3
45	6.000	6.000	3	8	12	15	2	19	0	0
60	7.998	7.998	84	116	0	7	12	5	22	5
Total	15.996		359		56		47		39	

Esse estudo, totalizando 15.996 peças, detectou-se cinco tipos de defeitos para o primeiro e segundo turno, sendo estratificado a seguir:

5.1.1 – Análise de respingos no processo de soldagem robotizado

A Tabela 5 representa a quantidade total e acumulada dos defeitos de respingos encontrados quinzenalmente no processo de soldagem robotizado, no primeiro e segundo turno da linha de soldagem do quadro auxiliar, para um acompanhamento de produção de 15.996 peças soldadas.

A estratégia do estudo realizado em dois turnos foi para garantir a estratificação quantitativa do problema que irá auxiliar na resolução da causa raiz pela utilização do diagrama de Ishikawa.

Tabela 5 – Quantidade de defeitos de respingos

Dias	Turno	1º	Acum. 1º	2º	Acum. 2º
15		1.976	1.976	1.997	1.997
30		2.002	3.978	2.004	4.001
45		1.998	5.976	2.012	6.013
60		2.005	7.981	2.002	8.015
Total de Defeitos			15.996		
Total de peças			15.996		

A quantidade total de defeitos 15.996 peças representa 100% do total de amostras produzidas e inspecionadas. Este valor é representativo por se tratar de aspecto de acabamento de um produto de alto valor agregado, isso resulta em um aumento em mão-de-obra, pois todas as peças deverão ser retrabalhadas.

O gráfico da Figura 25 representa nos últimos 30 dias uma constância para o 1º e 2º turno, deixando-se evidente que a fabricação necessita de acompanhamento na investigação das possíveis causas de defeito do tipo respingo.

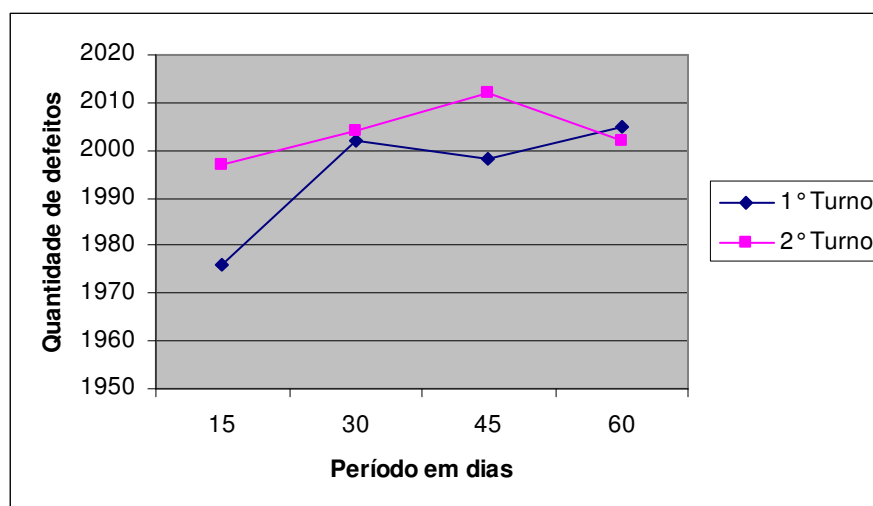


Figura 25 – Quantidade de defeitos de respingos

A Figura 26 representa o diagrama de Ishikawa para os respingos, buscando-se as possíveis causas em função do acompanhamento/diagnóstico dos operadores, supervisor e engenheiro do processo.

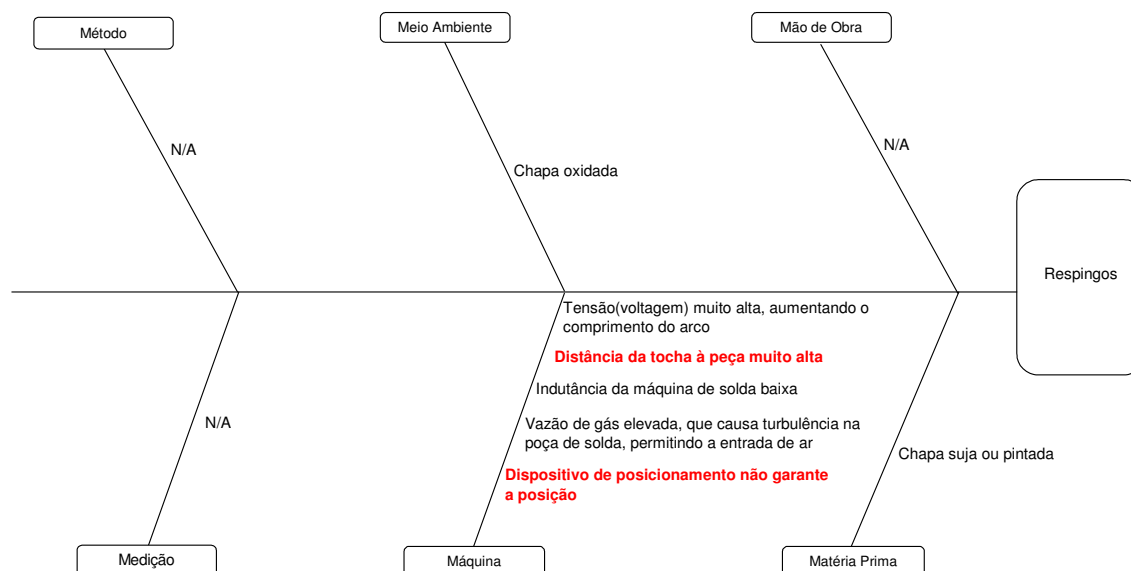


Figura 26 – Diagrama de Ishikawa – respingos

Após as análises no diagrama de Ishikawa para a geração dos respingos, a principal causa foi que a distância da tocha à peça estava muito alta, e também foi observado que o dispositivo não garantia o correto posicionamento das peças a serem soldadas, acarretando uma instabilidade no processo produtivo.

A Figura 27 mostra os respingos de solda no gancho do quadro auxiliar.

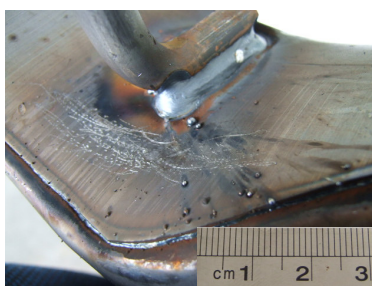


Figura 27 – Respingos na solda do gancho do quadro auxiliar

5.1.2 - Análise de solda deslocada no processo de soldagem robotizado

A Tabela 6 representa a quantidade total e acumulada dos defeitos de solda deslocada encontrados quinzenalmente no processo de soldagem robotizado, no primeiro e segundo turno da linha de soldagem do quadro auxiliar, para um acompanhamento de produção de 15.996 peças soldadas.

Tabela 6 – Quantidade de defeitos de solda deslocada (MIRON, 2007)

Dias	Turno	1º	Acum. 1º	2º	Acum. 2º
15		31	31	47	47
30		28	59	42	89
45		3	62	8	97
60		84	146	116	213
Total de Defeitos			359		
Total de peças			15.996		

A quantidade total de defeitos 359 peças representa 2,24% do total de amostras produzidas e inspecionadas. Este valor é representativo por se tratar de um item de segurança, de alto valor agregado e, principalmente, por prejudicar a confiabilidade exigida pela indústria automobilística.

O gráfico da Figura 28 representa um aumento nos últimos 15 dias para os 2 turnos, deixando evidente que o dispositivo apresentava indícios de instabilidade.

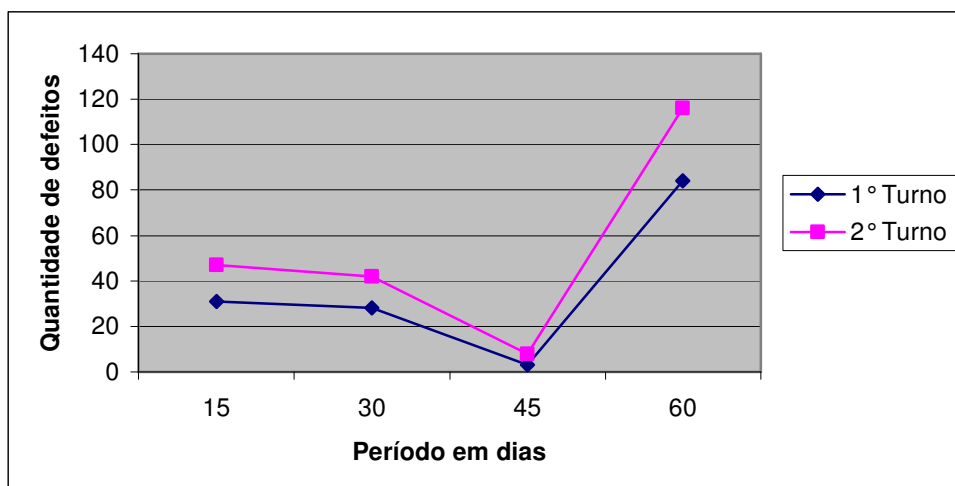


Figura 28 – Quantidade de defeitos de solda deslocada (MIRON, 2007)

A Figura 29 representa o diagrama de Ishikawa para a solda deslocada, buscando as possíveis causas em função do acompanhamento/diagnóstico dos operadores, supervisor e engenheiro do processo.

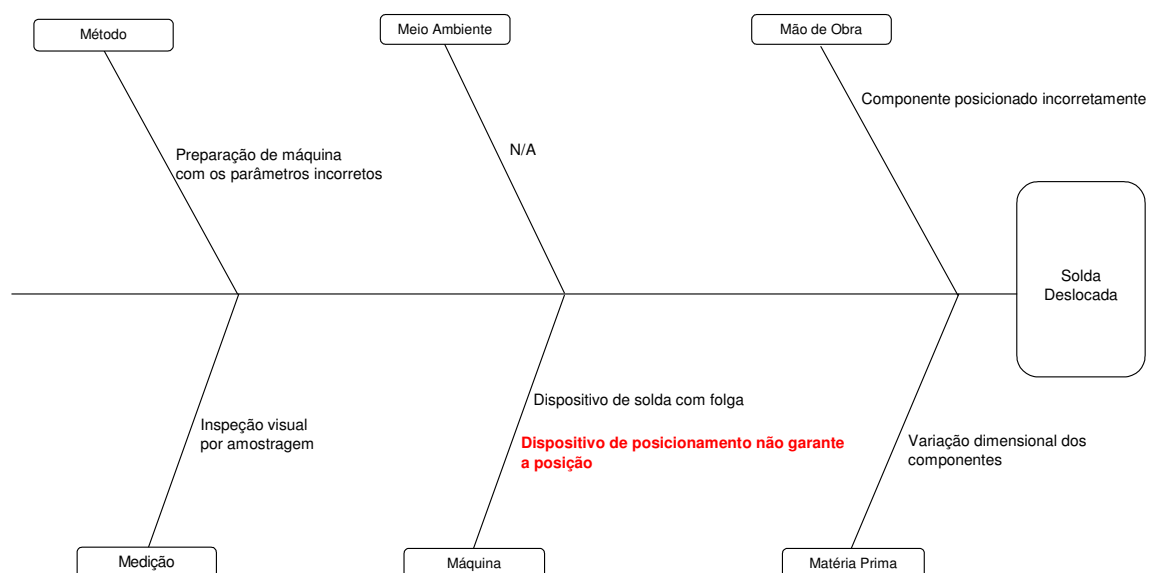


Figura 29 – Diagrama de Ishikawa - solda deslocada (MIRON, 2007)

Após as análises no diagrama de Ishikawa para a geração de solda deslocada, a principal causa foi que o dispositivo não garantia o correto posicionamento das peças a serem soldadas, acarretando uma instabilidade no processo produtivo.

A Figura 30 mostra a análise metalúrgica da solda deslocada, juntamente com a macrografia, revelando a incorreta posição da solda entre a chapa e o gancho.



Figura 30 – Solda deslocada do gancho do quadro auxiliar (MIRON, 2007)

5.1.3 - Análise de falta de penetração no processo de soldagem robotizado

A Tabela 7 representa a quantidade total e acumulada dos defeitos de falta de penetração encontrados quinzenalmente no processo de soldagem robotizado, no primeiro e segundo turno da linha de soldagem do quadro auxiliar, para um acompanhamento de produção de 15.996 peças soldadas.

Tabela 7 – Quantidade de defeitos de falta de penetração

Dias	Turno	1°	Acum. 1°	2°	Acum. 2°
15		0	0	4	4
30		11	11	9	13
45		12	23	15	28
60		0	23	7	35
Total de Defeitos		58			
Total de peças		15.996			

A quantidade total de defeitos 58 peças com falta de penetração representa 0,36% do total de amostras produzidas e inspecionadas. Para este defeito, o valor é representativo por se tratar de um item de segurança, de alto valor agregado e principalmente, por prejudicar a confiabilidade exigida pela indústria automobilística.

O gráfico da Figura 31 representa nos últimos 15 dias uma melhora para o primeiro e segundo turno, onde a engenharia de processo interviu nos parâmetros de soldagem, reduzindo consideravelmente o defeito.

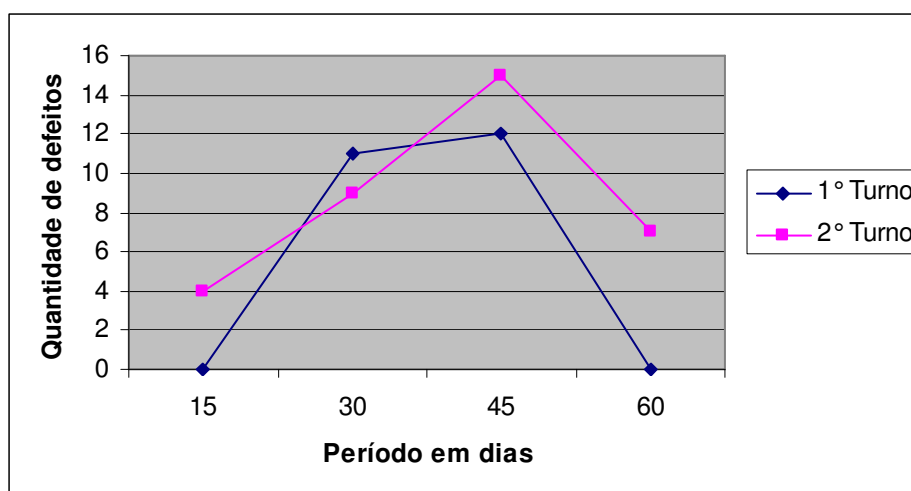


Figura 31 – Quantidade de defeitos de falta de penetração

A Figura 32 representa o diagrama de Ishikawa para a falta de penetração, buscando as possíveis causas em função do acompanhamento/diagnóstico dos operadores, supervisor e engenheiro do processo.

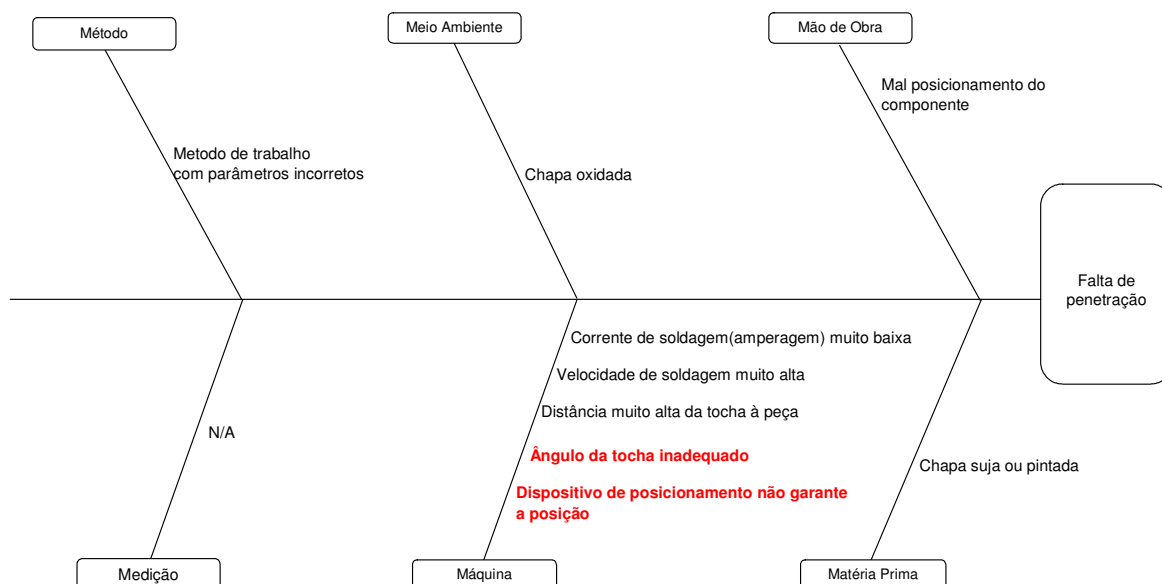


Figura 32 – Diagrama de Ishikawa – falta de penetração

Após as análises no diagrama de Ishikawa para a geração de falta de penetração, a principal causa foi que o ângulo da tocha estava inadequado e também foi observado que o dispositivo não garantia o correto posicionamento das peças a serem soldadas, acarretando uma instabilidade no processo produtivo.

A Figura 33 mostra a análise em macrografia da falta de penetração na chapa do quadro auxiliar.

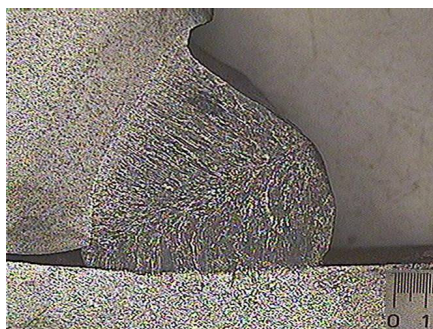


Figura 33 – Falta de penetração na solda do gancho do quadro auxiliar

Observa-se a zona bruta de fusão do cordão de solda, e a penetração em somente um componente da junta soldada. Esta falta de penetração facilitará o descolamento da solda e conseqüentemente a falha do componente.

5.1.4 - Análise de chapa furada no processo de soldagem robotizado

A Tabela 8 representa a quantidade total e acumulada dos defeitos de chapa furada, encontrados quinzenalmente no processo de soldagem robotizado, no primeiro e segundo turnos da linha de soldagem do quadro auxiliar, para um acompanhamento de produção de 15.996 peças soldadas.

Tabela 8 – Quantidade de defeitos de chapa furada

Dias	Turno	1°	Acum. 1º	2°	Acum. 2º
	15	0	0	4	4
	30	5	5	0	4
	45	2	7	19	23
	60	12	19	5	28
Total de Defeitos			47		
Total de peças			15.996		

A quantidade total de defeitos 47 peças, representa 0,30% do total de amostras produzidas e inspecionadas. Este valor é representativo por se tratar do aspecto de acabamento de um item de alto valor.

O gráfico da Figura 34 representa nos últimos 30 dias uma piora para o 1º e 2º turno, deixando evidente a instabilidade do processo de soldagem.

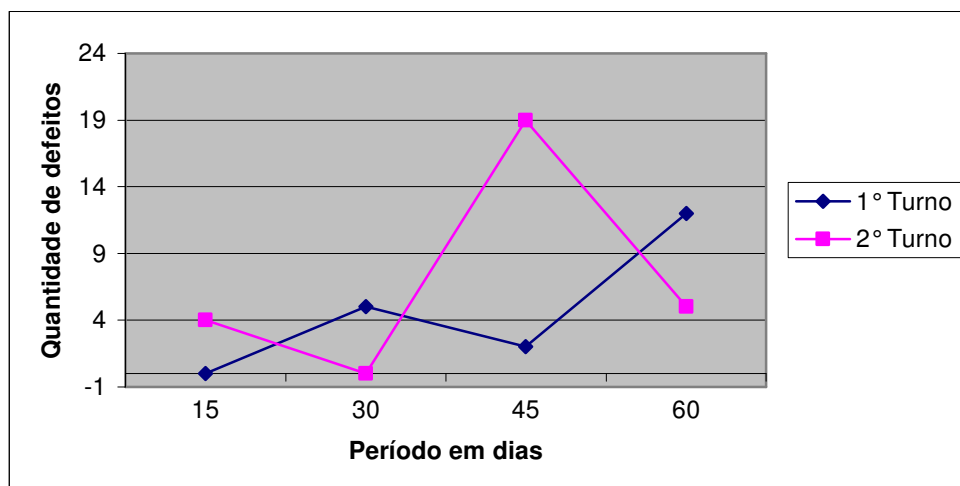


Figura 34 – Quantidade de defeitos de chapa furada

A Figura 35 representa o diagrama de Ishikawa para a chapa furada, buscando-se as possíveis causas em função do acompanhamento/diagnóstico dos operadores, supervisor e engenheiro do processo.

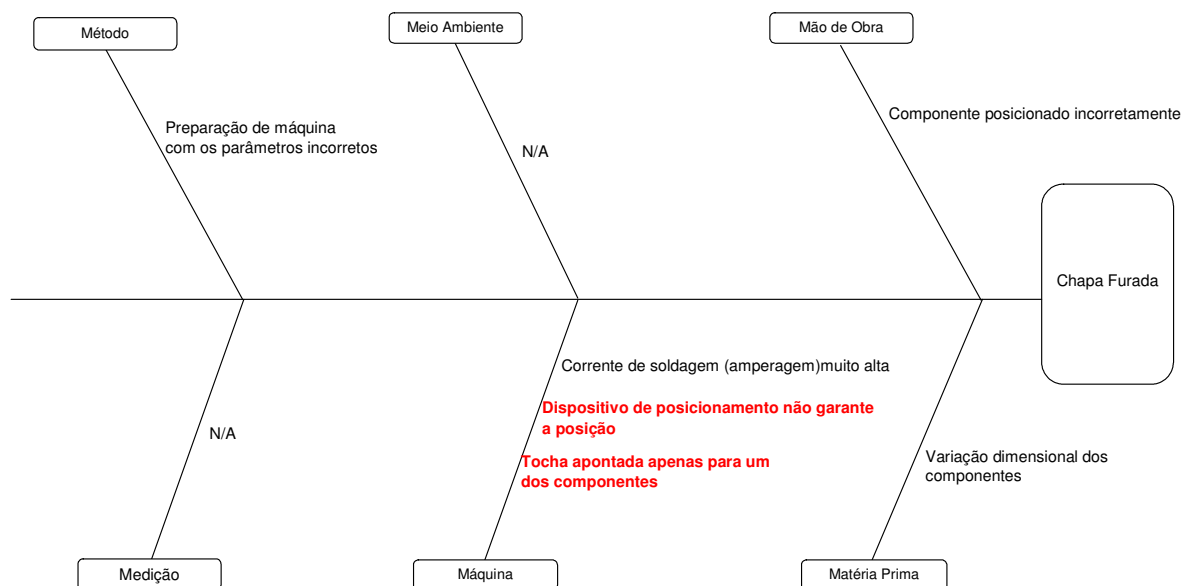


Figura 35 – Diagrama de Ishikawa – chapa furada

Após as análises no diagrama de Ishikawa para a geração de chapa furada, a principal causa foi que a tocha aponta apenas para um dos componentes e também

foi observado que o dispositivo não garantia o correto posicionamento das peças a serem soldadas, acarretando uma instabilidade no processo produtivo.

A Figura 36 mostra a chapa furada devido ao mal posicionamento do componente, resultando em um posicionamento da tocha voltado mais para a chapa.



Figura 36 – Chapa furada do gancho do quadro auxiliar

5.1.5 - Análise de porosidade no processo de soldagem robotizado

A Tabela 9 representa a quantidade total e acumulada dos defeitos de porosidade, encontrados quinzenalmente no processo de soldagem robotizado, no primeiro e segundo turnos da linha de soldagem do quadro auxiliar, para um acompanhamento de produção de 15.996 peças soldadas.

Tabela 9 – Quantidade de defeitos de porosidade

Dias	Turno	1°	Acum. 1°	2°	Acum. 2°
15		3	3	6	6
30		0	3	3	9
45		0	3	0	9
60		22	25	5	14
Total de Defeitos		39			
Total de peças		15.996			

A quantidade total de defeitos 39 peças representa 0,24% do total de amostras produzidas e inspecionadas. Este valor é representativo por se tratar de um item de segurança, de alto valor agregado e, principalmente, por prejudicar a confiabilidade exigida pela indústria automobilística.

O gráfico da Figura 37 representa nos últimos 15 dias uma piora para o primeiro e segundo turno, sendo necessário uma intervenção da engenharia de processo para reduzir a velocidade de soldagem.

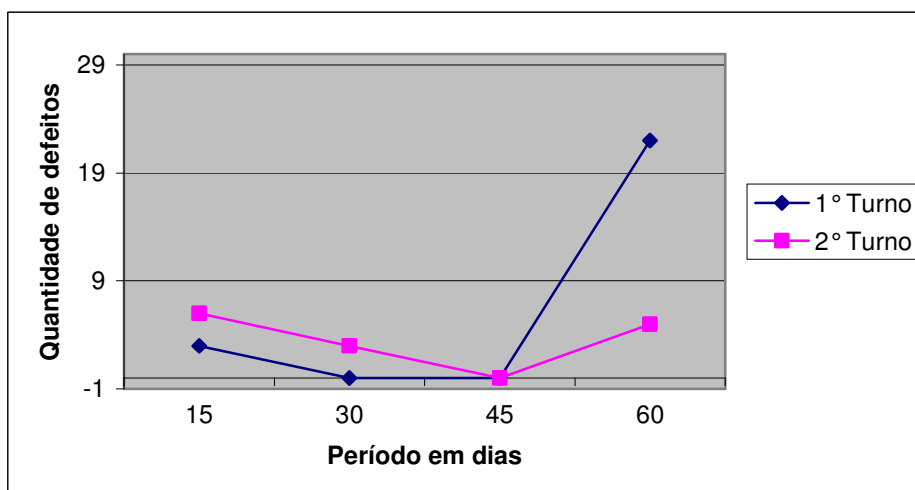


Figura 37 – Quantidade de defeitos de porosidade

A Figura 38 representa o diagrama de Ishikawa para a porosidade, buscando-se as possíveis causas em função do acompanhamento/diagnóstico dos operadores, supervisor e engenheiro do processo.

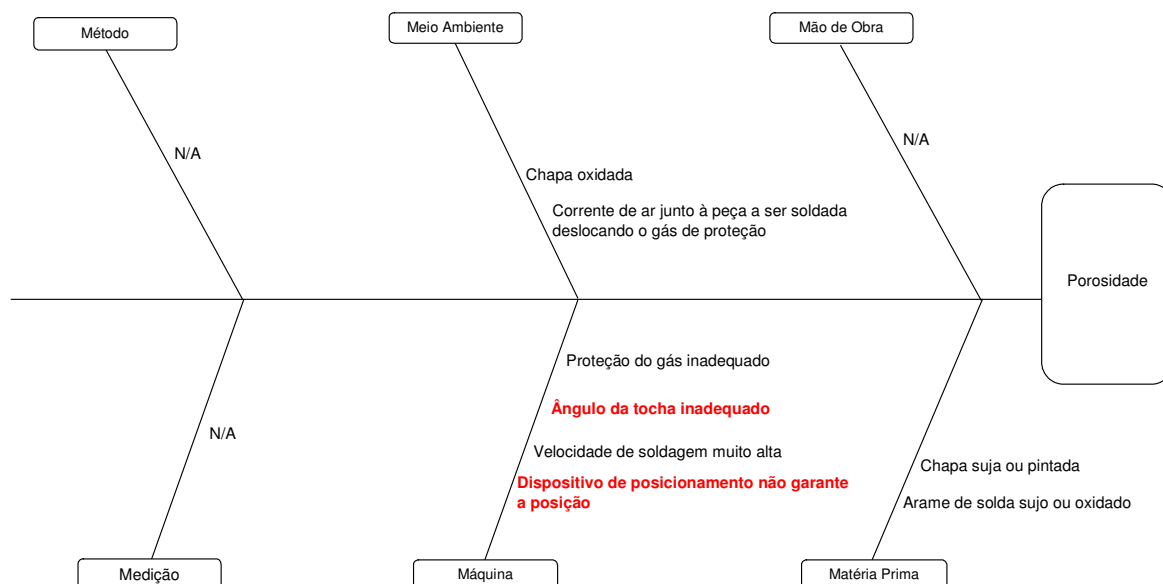


Figura 38 – Diagrama de Ishikawa – porosidade

Após as análises no diagrama de Ishikawa para a geração de poros, a principal causa foi que o ângulo da tocha estava inadequado e também foi observado que o dispositivo não garantia o correto posicionamento das peças a serem soldadas, acarretando uma instabilidade no processo produtivo.

A Figura 39 mostra o poro juntamente com a macrografia.

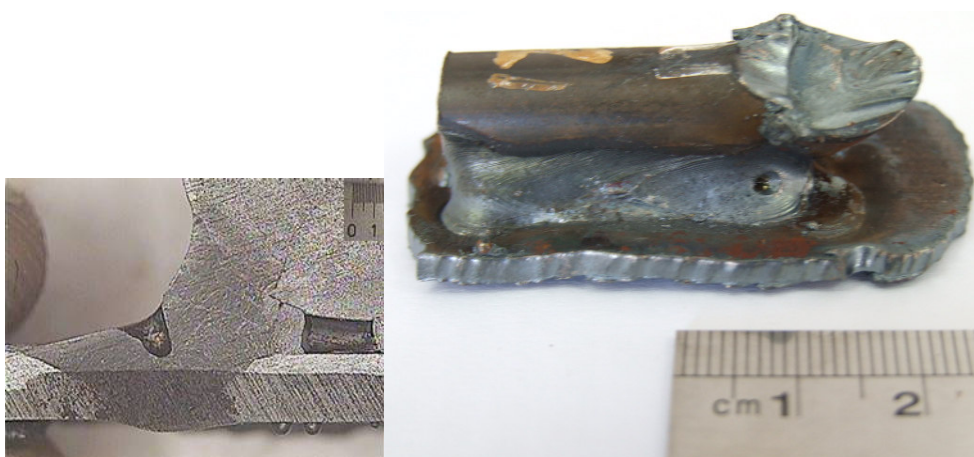


Figura 39 – Porosidade na solda do gancho do quadro auxiliar

6- CONCLUSÕES

Pela análise qualitativa, a metalografia foi essencial para parametrizar os dados tabulados das 15.996 peças da fabricação do quadro auxiliar.

Pela análise quantitativa, observa-se que o maior número de defeitos ocorreu no tipo respingo (100% dos componentes), apesar de ser um item de acabamento e não funcional, gera aumento de retrabalho.

Pela análise estratificada, observa-se que os defeitos do tipo solda deslocada, falta de penetração, chapa furada e porosidade, que são itens onde prejudicam a segurança da fabricação do quadro auxiliar e a confiabilidade do processo, portanto a engenharia deve atuar na sua redução.

Após as análises dos problemas de soldagem “GMAW” robotizado, foi detectado como causa raiz que o dispositivo de posicionamento dos componentes estavam ruins, não garantindo a estabilidade e a confiabilidade do processo.

Para a resolução definitiva do problema, a engenharia de processo deve atuar na melhoria ou, no desenvolvimento e fabricação de uma nova concepção do dispositivo de fixação dos ganchos.

REFERÊNCIAS

- ABB, Flexible Automotion; Product On-line Manual IRB 2400.
- ABB, Product Manual; Positioner IRB P250R/500R/750R, M2001, 2002.
- ABENDE. Ensaio visual e dimensional de soldas in: (Procedimento de END). São Paulo, 2004.
- ALCAN. Manual de Soldagem 1ª ed. São Paulo: Alcan, 1993.
- ALCHELE, G. The contact-tube distance in gas-shilded metal-arc welding how does it work? in: Welding and cutting. , 2002. p. 80-83.
- ALMENDRA C.; SILVA T.; RAMALHO J. Soldagem in: São Paulo: Senai, 1997.
- ALTSHULLER, B. A Guide to GMAW welding of aluminum. In: Welding Journal, USA, p. 49-55, June. 1998
- AMERICAN WELDING SOCIETY, Standard for AWS certification of welding inspectors, American Welding Society USA, 1988, 10p.
- _____, AWS B2.1 Standard for welding Procedure and performance Qualification, American Welding Inspection Society, USA 1999.
- _____, Welding Inspection- American Welding, Society USA, 1980, 222p.
- _____, Welding Handbook, American Welding Society, vol. 1 pp. 7-10 e vol. 2 pp. 109-155, 8ª ed., USA, 1991.
- ARTHUZO, A. Estudo da influência dos parâmetros de soldagem no processo “GMAW” robotizado, 2006, 113p. Dissertação (mestrado) – Universidade de Taubaté.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 5906 EPA, Chapas finas a quente de aço carbono para estampagem, Agosto, 1984.
- BANKS, J. Principles of quality control. New York: John Wiley, 634 p, 1989.
- BARRA, S. R. Influência do processo MIG/MAG térmico sobre a microestrutura e a geometria da zona fundida. Santa Catarina, 2003.
- BONANNI, C. G. A utilização de projeto e análise experimentos aplicados em soldagem: un estudo de caso. Universidade Federal de Itajubá, 2004.
- BRACARENSE, A. Q. *Gas Metal Arc Welding*. Artigo Infosolda, 2003.

BRACARENSE, A., *A soldagem GMAW (ou MIG – MAG)*, Revista da Soldagem, ABS, p. 6-17, Ano II Nº 5 – 2004

CAMARGO, J. R. ; ARTHUZO, A. ; MIRON, L.; CAMILO, M. ; CHAVES C. Estudo da influência da inclinação de soldagem no processo "GMAW" robotizado *In: II WORKSHOP COOPERAÇÃO UNIVERSIDADE- EMPRESA UNEM*, Taubaté. São Paulo:, 2006.

CAMPOS, V. F. TQC – Controle de Qualidade Total. 6ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CARAM, R. Metalografia: Preparação de amostras e análise quantitativa, 2004.

CASSARRO, A. C. Sistemas de informações para tomada de decisões. 3ª ed. São Paulo: Pioneira, 1999. 130p.

CHAE, Y. M. A New Instantaneous Output Current Control Method for Inverter Arc Welding Machine. IEEE. p. 521-526. 1999.

COMERCIAL GERDAU. Arame para Solda MIG/MAG (GMAW) São Paulo, 2006. disponível em < www.comercialgerdau.com.br/produto/catalogo. Acesso em: 12 out. 2006.

COSTA, U. Qual a importância do “Stickout” na soldagem MIG/MAG e arame tubular. *In: Soldagem & Inspeção*, São Paulo, nº 1, p.54-55, Maio, 1995.

COSTA, A. V.; SCOTTI, A.; OLIVEIRA, S. A. G. Influência de defeitos na resistência de juntas soldadas de alterações veiculares *In: XXIV ENCONTRO NACIONAL TECNOLOGIA DA SOLDAGEM*, Fortaleza, 1998.

CULLISON, A. Get That Spatter under Control. *Welding Journal*, Miami, v. 78, n. 4, p. 43-45, Apr. 1999.

DEMING, W.E. My View of Quality Control in Japan. Report of Statistical Application Research. Tokyo: Union of Japanese Scientists and Engineers (JUSE), 1975. v. 22, n. 2, p. 25-32, 1975.

DIE EUROPAISCHE NORM EN 10277-2, Steels for general engineering purposes. Europe, 1999.

DILLENBECK, V. R. The Effects of Various Shielding Gases and Associated Mixtures in GMA W welding of Mild Steel. *Welding Journal*, Miami, v. 66, n. 9, p. 45-49, Sep. 1987.

DUTRA, J.C., Manual da fonte de soldagem Inversa 450. Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

ESAB, Manual de Soldagem MIG/MAG, São Paulo, 2005.

FORTES, C., *Soldagem MIG/MAG*. Assistência Técnica de Consumíveis – ESAB BR, 2004.

FORTEL, I. C. Equipamentos e serviços para área de controle de qualidade de ensaios metalográficos físicos e químicos, São Paulo, 2006. disponível em <www.fortel.com.br>. Acesso em: 16 out. 2006.

FREITAS, A. R., Proposta de uma metodologia para condução de processos de empresas, São Carlos, 2000.

GIMENES, L.; RAMALHO, J. P. Introdução MIG/MAG. Infosolda, disponível em <www.infosolda.com.br/download/61dpe.pdf>. Acesso em: 06 set. 2006.

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. TQC gestão da qualidade total: análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA – FTA). B. H.: Fundação Christiano Ottoni, 1995. 11v. 15p.; 19-20p.

IM&C internacional, Japan Institute of Plant Maintenance Tokyo, Japão. Curso de Manutenção Planejada TPM – Total Productive Maintenance. São Paulo: Impresso pela IMC internacional, 2000, 173p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION TECHNICAL SPECIFICATION 16949:2002, Sistema de Gestão da Qualidade.

INFOSOLDA. Guia de solução de problemas, disponível em: <www.infosolda.com.br> , acesso em: 16 de nov. 2006.

INES, P. GMAW-Gas Metal Arc Welding São Paulo, 2006. <<http://dspace.ist.uti.pt/brtstream>>. Acesso em: 24 de setembro.

IRVING, B. Trying to Make Some Sense Out of Shielding Gases. Welding Journal, Miami, v. 73, n. 5, p. 65-70, May. 1994.

IRVING, B. Shielding Gases are the Key to innovations in Welding Journal. Miami, v. 78, n. 1, p. 37-41, jan. 1999.

ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control. Asian Productivity Organization. Hong Kong: Nordica International, 1976.

ISHIKAWA, Kaoru. Controle de qualidade total: a maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campus, 1998. 321p.

JURAN, J.M. A Função Qualidade. In: JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M., (Ed.) Controle da Qualidade. São Paulo: Makron Books/McGraw-Hill, p. 10-31, 1991.

LINNERT, G.E., “Welding metallurgy – Vol 1”. New York: American Welding Society. Third Edition, 1965.

LIU, S.; SIEWERT, A. Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding: Droplet

Rate. Welding Journal, Miami, v. 68, n. 2, p.52-58, Feb. 1989.

MACHADO, I. Soldagem & Técnicas Conexas: Processos. Livro, 1ª Edição, Porto Alegre, 1996.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE A.Q. Soldagem Fundamentos e Tecnologia in: : UFMG, 2005.

MERKLE, B. Equipamentos de soldagem LTDA São Paulo, 2006. Disponível em <www.merkle.com.br>. Acesso em: 12 de outubro.

MIRON, L.. Estudo de causa do defeito solda deslocada em soldagem GMAW para o quadro auxiliar de automóveis: *62º Congresso anual Associação brasileira de metalurgia*, Vitória. Espírito Santo, 2007.

MODENESI, P. J. *Técnica Operatória da Soldagem GMAW*, 2000.

MODENESI, P. J. Descontinuidade e Inspeção em juntas soldadas in: Belo Horizonte, 2001.

MODENESI, P. J. *Fontes de energia para a soldagem a Arco* in: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2005.

MODENESI, P. J. Transferência de Metal na Soldagem GMAW (MIG/MAG), 2002.

MOYER, N. The Evolution of Shielding Gás. Welding Journal, Miami, v. 81, n. 9, p. 51-52, Sep. 2002.

NORRISH, J.; RICHARDSON, I. F., "Back to basics: metal transfer mechanisms", *Welding & Metal Fabrication*, Jan-Fev, pp. 17-22, 1988.

NORRISH, J.; "Advanced Welding Processes", IOP Publishing Ltd, 375 pp, 1992.

OKUMURA, K. Fuzzy Expert System for Robotic Arc Welding. In: Welding and Joining Processes. PED - Vol 51. ASME, 85-90, 1991.

PEIXOTO, A. L., *Soldagem GMAW Convencional em CCEN utilizando consumível ER 309L sobre chapas de aço 1020*, 2004.

PEREIRA, W.A. Artigo Comportamento do Cordão na Soldagem GMAW Pulsada em chanfros estreitos, 2001.

PONGELLUPE, P.C. Modelo de indicadores de desempenho para o micro e pequena agroindústria: multi-caso de laticínios. São Carlos, 2002. 169p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos.

QUITES, A. Tecnologia da soldagem a arco Voltaico. Florianópolis, EDEME, 1979.

RAMALHO, J. Perguntas e respostas. Disponível em <www.infosolda.com.br>, acesso em: 16 nov. 2006.

RYAN, P. Tips on Welding Aluminum with the GMAW Process. In : Welging Journal, USA, p. 43-45, December. 1988.

SADLER, H. A. Look at the Fundamentals of Gas Metal Arc Welding. In: Welding Journal, USA, p. 45-47, May. 1999.

STENBACKA, N.; PERSSON, K. A., Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding, *Welding Journal*, vol. 68, no 11, pp. 41 – 47, 1989.

STREET, J. A. Pulsed Arc Welding. In: Abington Publishing Special Report, Cambridge, 1990.

TAKAHASHI, Y.; TAKASHI, O., TPM Manutenção Produtiva Total. São Paulo : Instituto IMAM 2ª Edição, 2000, 322p.

UNB. Soldagem a Arco MIG/MAG (GMAW) São Paulo, 2006. disponível em <www.unb.br/ft/enm/vortex/ftp/tecmecl/mig%20maç.pdf>. Acesso em: 04 out. 2006.

UNB. Automação na Soldagem. São Paulo, 2006. Disponível em www.unb.br/ft/enm/vortex >. Acesso em: 13 mai. 2006.

VAIDYA, V. Shielding gas mixtures for semiautomatic welds. *Welding Journal*. Miami, v. 81, n. 9, p.43-48, set 2002.

VOLKSWAGEN, VW 01106-1, Gas shielded arc welding, july, 2004.

WAINER, E.; BRANDINI, S.D.; MELLO, F.D. *Soldagem Processo e Metalurgia*. Editora Edgard Blucher, 2004.

WAINER, E. Soldagem: Processos e Metalurgia. Livro, 1ª ed., São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1992.