

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO PRESSATO FERNANDES

TECNOLOGIA DA SOLDAGEM

Varginha – MG

2011.

FEPESMIG

BRUNO PRESSATO FERNANDES

TECNOLOGIA DA SOLDAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob orientação do Prof. Esp. Erik Vitor da Silva.

Varginha – MG

2011


FEPESMIG

BRUNO PRESSATO FERNANDES

TECNOLOGIA DA SOLDAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /



Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes



Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus familiares, minha namorada e aos meus colegas do curso, colegas do trabalho no qual passamos juntos todos esses anos.

Grupo Educacional UNIS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus toda força e determinação concedida para chegar até aqui. Agradeço também à minha família, minha namorada, meus companheiros de trabalho, colegas e professores, pelo apoio e motivação.

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles.”

Albert Einstein

RESUMO

É impossível pensar em processos industriais e de fabricação sem lembrar em processos de união e principalmente em soldagem, desde que foi descoberto, em 1801 por Sir Humprey, este processo revolucionou a forma de união de peças metálicas e passou por diversos processos de descoberta, estudo e evolução. Hoje em dia está presente desde grandes equipamentos como ônibus espaciais e plataformas de petróleo até nos minúsculos microchips em nossos computadores. Em nosso país a importância deste método de união para o processo de fabricação é vital para o crescimento de diversos setores da economia sendo tratado até mesmo como meio de produção. A soldagem oferece diversas oportunidades de estudo, pesquisa e trabalho em todo o mundo e é sem dúvida o processo que demanda o maior número de pessoas e também de máquinas em todo o nosso planeta. Diante de um uso tão solicitado e presente no dia a dia das fabricas, faz-se necessário um estudo minucioso das principais tecnologias que envolvem a soldagem incluindo a segurança que deve ser incluída no processo.

Palavras Chaves: Soldagem. Tecnologia da Soldagem. Qualidade na Soldagem. Segurança na Soldagem.

ABSTRACT

It is impossible to think of industrial processes and manufacturing processes without remembering union and especially in welding, since it was discovered in 1801 by Sir Humphrey, this process has revolutionized the way of union of metal parts and went through several processes of discovery, study and evolution. Today's big present from equipment such as shuttle and oil rigs to tiny microchips in our computers. In our country the importance of this binding method for the manufacturing process is vital to the growth of various sectors of the economy being treated even as a means of production. Welding offers many opportunities for study, research and work around the world and is undoubtedly the case that demands the greatest number of people and also to machines all over the planet. Faced with such a request and use this on a daily basis from factories, it is necessary a detailed study of the technology that involves welding including the security that should be included in the process.

Key Words: Welding. Welding Technology. Quality Welding. Safety in Welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: classificação dos processos de soldagem quanto a fonte de energia	15
Figura 02: Processo de solda por resistência elétrica (a) ponto e (b) costura	16
Figura 03: Representação esquemática do processo de soldagem oxigás.....	18
Figura 04: Esquema de processo de soldagem GTAW (TIG)	19
Figura 05: Equipamentos básicos de soldagem GTAW	20
Figura 06: Representação esquemática do processo de soldagem MIG/ MAG.....	21
Figura 07: Perfil de cordões de solda feito com diferentes gases e misturas	22
Figura 08: Tipos de mecanismos de transferência metálica me MIG/ MAG.....	22
Figura 09: Cadinho utilizado no processo de solda aluminotermico	24
Figura 10: Representação da soldagem por explosão	26
Figura 11: Micrografia da união de chapas por explosão	26
Figura 12: Representação processo de soldagem com eletrodo tubular.....	28
Figura 13: Geometrias usuais dos eletrodos tubulares	29
Figura 14: Vista Frontal e secção transversal de soldagem por eletroescória.....	31
Figura 15: Detalhes da soldagem com eletrodo revestido.....	33
Figura 16: Processo de soldagem p/ arco submerso utilizando eletrodo sólido	36
Figura 17: Processo de soldagem por fricção.....	38
Figura 18: Tipos de junta.....	40
Figura 19: Tipos de chanfro	41
Figura 20: Características dimensionais de chanfros usados em soldagem	41
Figura 21: Algumas dimensões e regiões de soldas de topo e filete	41
Figura 22: Posições de soldagem	42
Figura 23 Localização dos elementos de um símbolo de soldagem	43
Figura 24 Símbolos suplementares de solda	44
Figura 25: Sete variações de soldas em chanfros e seus símbolos.....	44
Figura 26: Transição do tipo de fratura	46
Figura 27: Influência do formato do cordão na sensibilidade à trincamento.	50
Figura 28: Exemplos de perfis de solda inadequados (esquemático).....	51
Figura 29: Aplicação da inspeção com líquidos penetrantes.....	52
Figura 30: Esquema de uma inspeção ultra-sônica	53
Figura 31: Esquema de gabarito para a determinação da dimensão de soldas de filete.....	54
Figura 32: Esquema da inspeção com partículas magnéticas	55
Figura 33: Exemplos de descontinuidades perceptíveis radiografia	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Relação de soldabilidade de materiais.....	14
Tabela 02: Corrente de transição para arames de aço e de alumínio.....	23
Tabela 3: Especificações AWS para classificação de eletrodo revestido	34
Tabela 4: Exemplos de propriedades mecânicas específicas para metais depositados	45
Tabela 05: Exemplos de eficiências de juntas soldadas	47

SUMÁRIO

1 INTRUDUÇÃO	12
2 PROCESSOS DE SOLDAGEM	14
2.1 Soldabilidade	14
2.2 Classificações dos processos de soldagem	14
2.3 Soldagem a ponto e por costura	16
2.4 Processo de soldagem utilizando oxigás	17
2.5 Soldagem GTAW	19
2.6 Soldagem MIG/MAG	21
2.7 Aluminotermia	24
2.8 Soldagem por explosão	25
2.9 Soldagem com eletrodo tubular (FCAW)	27
2.10 Eletroescória e Eletrogás	30
2.11 Soldagem com eletrodo revestido	32
2.12 Soldagem por arco submerso	35
2.13 Soldagem por fricção	38
3 SIMBOLOGIA E TERMINOLOGIA DA SOLDAGEM	39
4 PROPRIEDADE ESTRUTURAL DA SOLDAGEM	44
4.1 Tenacidade da Junta Soldada	45
4.2 Eficiência da Soldagem	46
5 CONTROLE DA QUALIDADE APLICADA NA SOLDAGEM	47
5.1 Definições de cavidades, fusão e penetração incompletas	48
5.2 Definições de trincas	49
5.3 Definição de inclusões	50
5.4 Definição de Geometria	50
6 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	51
6.1 Líquido Penetrante LP	52
6.2 Ultra-som US	53
6.3 Inspeção Visual	54
6.4 Partícula Magnética	55
6.5 Radiografia e Gamagrafia	56
7 CUIDADOS E SEGURANÇA RELACIONADOS A SOLDAGEM	57
7.1 Precauções contra choque elétrico	58
7.2 Precauções contra fumos e vapores	59
7.3 Precauções contra radiação	60
7.4 Precauções contra riscos diversos	60
CONCLUSÃO	61

1 – INTRODUÇÃO

O ser humano desenvolveu diversas formas para unir materiais e, para uma mesma união, desenvolveu diversos processos que competem entre si, produzindo resultados tecnológicos similares. Assim sendo, temos a possibilidade de escolher o método de menor custo.

Os métodos de união dos metais são divididos basicamente em duas categorias: A categoria baseada no uso de forças mecânicas entre as peças que serão unidas e aquelas baseadas no aparecimento de forças intermoleculares. No primeiro caso, o melhor exemplo é a parafusagem, a resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do parafuso juntamente com as forças do atrito entre as superfícies em contato. Já no segundo caso, a união é possibilitada pela interação atômica e molecular das partes a serem unidas ou ainda destas peças e um segundo material (chamado material intermediário), em distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações metálicas. Podemos citar como exemplos desta categoria a brasagem, a soldagem e a colagem.

Para todo processo onde ocorre a união de dois ou mais materiais com fornecimento de energia, criando um meio metálico contínuo, denomina-se processo de soldagem. Essa energia necessária para que o processo de união se estabeleça pode ser de origem elétrica, mecânica, termomecânica, química ou radiante.

Os processos de soldagem podem ainda utilizar ou não materiais de adição e pode ou não apresentar a formação de uma fase líquida. Esse material de adição é definido como o material adicionado no processo de soldagem e tem o objetivo de promover a união e ainda completar os chanfros da junta.

Além do processo de união que se tornou a visão clássica da soldagem, podemos ter este recurso utilizado em diversos princípios, por exemplo, a utilização para a deposição de material sobre uma superfície para a recuperação de uma peça que apresente desgaste e ainda para a formação de revestimento protetor com características especiais, podemos também utilizar deste processo para corte em peças metálicas o que não se faz com a soldagem em si, porém os aspectos destas operações se assemelham a operações de soldagem.

Os processos de soldagem são utilizados em todos os segmentos da indústria, desde as etapas de início da fabricação até ao reparo e manutenção em equipamentos e peças. Uma das maiores vantagens deste processo é obtenção de uma união com uma continuidade não só na

aparência externa da peça, mais também em suas estruturas internas além de suas características e propriedades mecânicas e químicas.

Para Marques (2002), é na soldagem de produção que temos o campo de maior difusão e projeção da solda. Nos diversos setores onde se utilize metais, a solda, depois da matéria prima é o elemento de maior necessidade e, portanto, de uso indispensável. Para facilitar e regulamentar sua utilização foi necessário estabelecer especificações técnicas, que são detalhadas através de um setor de engenharia, onde vários profissionais estão envolvidos. Com isso criou-se nomenclaturas e símbolos próprios, metal base, metal de adição, tratamento térmico, tipo de juntas, cálculos de estruturas e controle de inspeção para o conjunto a ser soldado. Todo o processo é sempre baseado em normas.

Já a solda de manutenção, segundo Prisco (2007), é totalmente diferenciada da solda de produção. Este processo possui um papel de importância igual ao da solda de produção, porém apresenta dificuldades muito maiores.

A este processo é atribuído as funções de recuperar rápida e economicamente peças e equipamentos cuja substituição é caríssima, ou ainda muitas vezes impossível, e ainda manter em funcionamento as linhas de produção. Para essa aplicação não existem normas e nem especificações, pois geralmente se desconhece a composição química do metal base. Além disso, o metal base está sujo, contaminado, tensionado, o que dificulta determinar todo o restante.

Baseando-se neste metal base contaminado não é possível especificar metal de adição, processo de solda a ser usado, tratamento térmico dentre outros além de ter que soldar em posições difíceis (Prisco 2007). No processo de solda de manutenção, geralmente, não existe uma equipe de engenharia planejando as ações como na solda de produção. Na maioria das vezes quem decide o que fazer é o próprio soldador.

aparência externa da peça, mais também em suas estruturas internas além de suas características e propriedades mecânicas e químicas.

Para Marques (2002), é na soldagem de produção que temos o campo de maior difusão e projeção da solda. Nos diversos setores onde se utilize metais, a solda, depois da matéria prima é o elemento de maior necessidade e, portanto, de uso indispensável. Para facilitar e regulamentar sua utilização foi necessário estabelecer especificações técnicas, que são detalhadas através de um setor de engenharia, onde vários profissionais estão envolvidos. Com isso criou-se nomenclaturas e símbolos próprios, metal base, metal de adição, tratamento térmico, tipo de juntas, cálculos de estruturas e controle de inspeção para o conjunto a ser soldado. Todo o processo é sempre baseado em normas.

Já a solda de manutenção, segundo Prisco (2007), é totalmente diferenciada da solda de produção. Este processo possui um papel de importância igual ao da solda de produção, porém apresenta dificuldades muito maiores.

A este processo é atribuído as funções de recuperar rápida e economicamente peças e equipamentos cuja substituição é caríssima, ou ainda muitas vezes impossível, e ainda manter em funcionamento as linhas de produção. Para essa aplicação não existem normas e nem especificações, pois geralmente se desconhece a composição química do metal base. Além disso, o metal base está sujo, contaminado, tensionado, o que dificulta determinar todo o restante.

Baseando-se neste metal base contaminado não é possível especificar metal de adição, processo de solda a ser usado, tratamento térmico dentre outros além de ter que soldar em posições difíceis (Prisco 2007). No processo de solda de manutenção, geralmente, não existe uma equipe de engenharia planejando as ações como na solda de produção. Na maioria das vezes quem decide o que fazer é o próprio soldador.

2 - PROCESSOS DE SOLDAGEM

2.1 – Soldabilidade

Todo material possui características fisiológicas distintas (Svensson 1994), dessa forma é necessário a verificação de sua soldabilidade. Deve-se analisar o material e avaliar os cuidados que se deve tomar como o controle da temperatura de aquecimento e de interpasso além da necessidade de tratamento térmico após soldagem. Estes materiais que exigem cuidados no pós solda são definidos como materiais de baixa soldabilidade.

Vejamos a tabela a seguir:

Tabela 1 – Relação de soldabilidade de alguns materiais

Materiais	Soldabilidade			
	Ótima	Boa	Regular	Difícil
Aço Baixo Carbono	X			
Aço Médio Carbono		X	X	
Aço Alto Carbono				X
Aço Inox	X	X		
Aços-liga			X	
Ferro Fundido Cinzento			X	
Ferro Fundido Maleável e Nodular			X	
Ferro Fundido Branco				X
Liga de Alumínio		X		
Liga de Cobre		X		

Fonte: (American Welding Society, *Welding Handbook*, traduzido)

2.2 - Classificação dos Processos de Soldagem

Diversos autores (Prisco 2007; Wainer, E., Brandi, S.D. et. AL, 1992; Stinchcomb, C. 1989) definem o processo de soldagem utilizam-se de uma classificação baseada na natureza da união em si, tomando como referência à existência ou não de uma fase líquida que pode ser constituída apenas do material de adição ou de uma mistura entre o material de adição e parte do material base que se fundiu. Entretanto, baseando-se em pesquisas diversas, não foi encontrado certo consenso entre autores referente à estruturação das subclasses destes processos.

Uma das classificações mais úteis e claras para os processos de soldagem é a definição pelo tipo de fonte de energia que se utiliza para permitir a fusão e união das peças (Machado 1996.).

Vejamos o fluxograma da Figura 1.

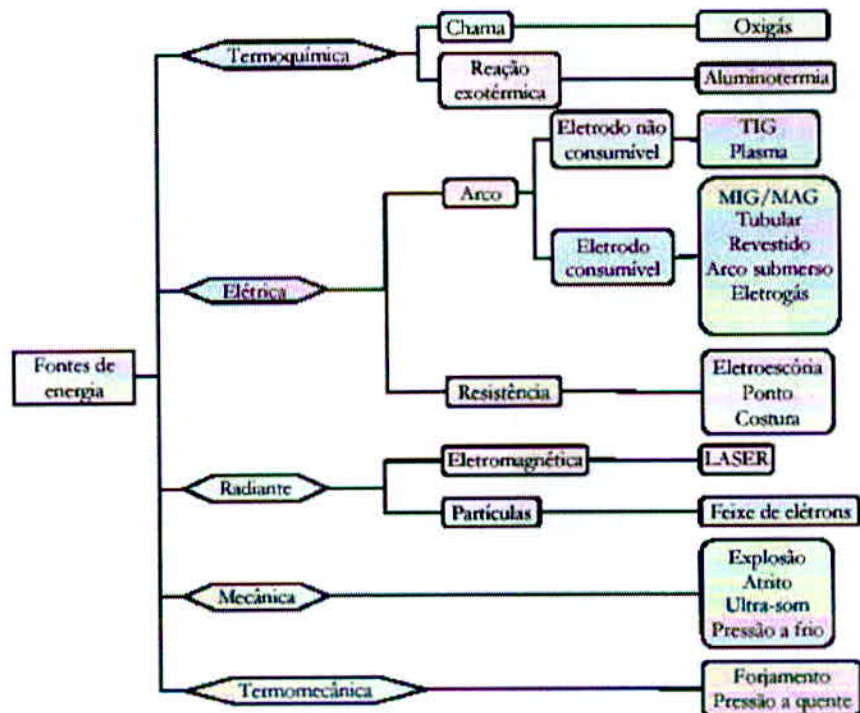


Figura 1 – Classificação dos processos de soldagem quanto à fonte de energia.
 Fonte: Soldagem I - Introdução aos processos de soldagem (Marques 20011)

Todos estes processos apresentados na Figura 1 representam apenas as principais formas e maneiras para se desempenhar os métodos de soldagem e não incluem como já citado as operações de corte, de pulverização térmica e ainda as de união por adesão. Possuímos diversos processos para estes fins e, com isso, a Sociedade Americana de Soldagem (American Welding Society - AWS) reconhece a existência de mais de 100 processos de soldagem e técnicas relacionadas. Vejamos alguns dos mais utilizados na indústria nacional conforme nos informa (Machado 1996).

2.3 - Soldagem a ponto e por costura

Altamente utilizado em indústria automobilística (Machado 1996.), os processos de soldagem a ponto e por costura são realizados pela passagem de corrente elétrica entre dois eletrodos não-consumíveis que pressionam as duas partes a serem soldadas. Logo após fundir localmente a material base, por efeito Joule, esta corrente é desligada e os eletrodos são mantidos pressionados até que a solda se solidifique. Além de conduzir a corrente de soldagem e aplicar pressão localizada, os eletrodos possuem ainda a função de auxiliar na dissipação de calor.

Neste processo de soldagem, como o próprio nome diz, apenas um ou múltiplos pontos de solda são produzidos (Figura 2 - a). De acordo com Machado (1996) podemos listar como produtos de sua utilização a fabricação de peças e conjuntos, a partir de chapas metálicas finas, com espessuras de até 3 mm aproximadamente, quando o projeto permite o uso de juntas sobrepostas. Pode ser aplicado em aços carbono, aços inoxidáveis, Al, Cu, Mg, Ni e suas ligas.

Já o processo de soldagem por costura (Figura 2 b) como define Machado (1996), utiliza eletrodos com formato de disco que rolam sobre as superfícies formando um cordão de solda contínuo, este processo é largamente empregado na confecção de tubos com costura, tanques de combustível para automóveis, extintores de incêndio, fabricação de tubos, etc.

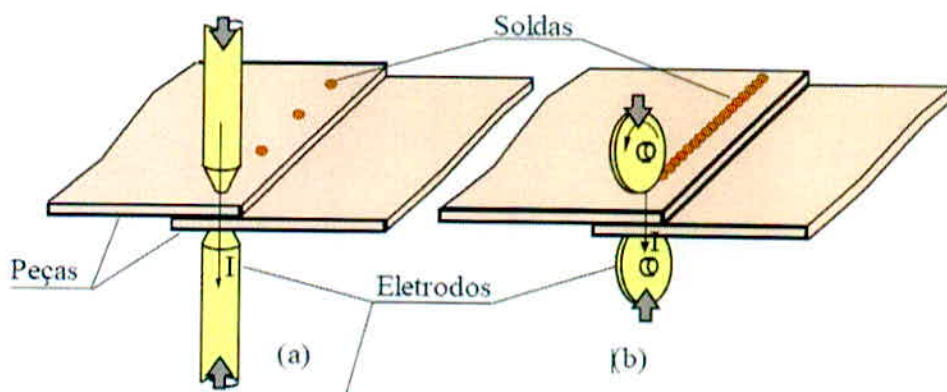


Figura 2 – Processo de soldagem por resistência elétrica: (a) a ponto e (b) por costura.

Fonte: Soldagem I - Introdução aos processos de soldagem (Marques 20011)

Aplicações:

Indústria Automobilística;
Elétron-eletrônicos e eletrodomésticos;
Tubulações;
Equipamentos ferroviários.

Vantagens:

Possibilita a Soldagem de chapas muito finas;
Não requer muita habilidade do operador;
Alta produtividade.

Limitações:

Não aceita peças com formatos muito complexos e pesadas;
Custo elevado do equipamento e da manutenção;
Demanda de energia elétrica durante a soldagem.

2.4 – Processo de Soldagem utilizando Oxigás OFW – (OXIFUEL WELDING)

Este tipo de soldagem, também chamado de soldagem a gás oxicombustível ou ainda soldagem a gás é um processo no qual a união dos metais é obtida pelo aquecimento destes com uma chama de um gás combustível e o oxigênio (AWS, *Welding Handbook*, 2007). O processo envolve a fusão do metal de base e do metal de adição, quando utilizado. Na Figura 3 temos uma representação esquemática deste processo. Este processo tem como características principais o controle refinado que se pode exercer sobre a intensidade do calor e da temperatura nas peças que estão sendo soldadas, devido ao controle independente da fonte de calor e da alimentação do metal de adição além de ser um processo relativamente barato em relação aos outros e ainda equipamentos portáteis simples de baixo custo,

consistindo-se apenas de maçaricos e cilindros ou geradores de gases conforme explica Marques (2002).

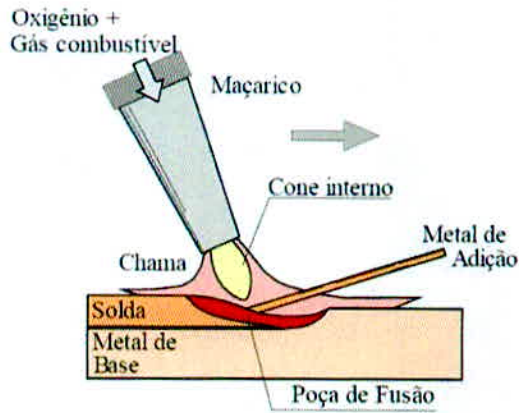


Figura 3 – Representação esquemática do processo de soldagem por oxigênio-gás (OFW).
Fonte: Soldagem I - Introdução aos processos de soldagem (Marques 20011)

Aplicações:

- Usado em grande escala para manutenção e reparos;
- Soldagem de chapas finas e tubos de pequenos diâmetros
- Materiais: Al, Bronze, FoFo, Ni, Aços baixo e alto carbono/Aço inoxidável

Vantagens:

- Não necessita de energia elétrica
- Equipamento portátil e muito versátil;
- Baixo custo de processo;

Limitações:

- Baixa intensidade de calor transferido à peça, resultando em baixa velocidade de soldagem;
- Superaquecimento na peça;
- Necessita de muita habilidade do operador;
- Riscos de explosões.

2.5 - Soldagem GTAW (soldagem a arco com proteção por gás e eletrodo não consumível)

Neste processo, a chamada soldagem GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), o arco elétrico é gerado entre a ponta de um eletrodo de tungstênio não-consumível e o material base (AWS, *Welding Handbook*, 2007). Este processo possui a característica de manter a poça de fusão protegida por gás inerte altamente puro oriundo do bocal que envolve o eletrodo. Este processo pode ou não utilizar um metal de adição, no formato de arame ou vareta, que pode ser alimentado manual ou automaticamente.

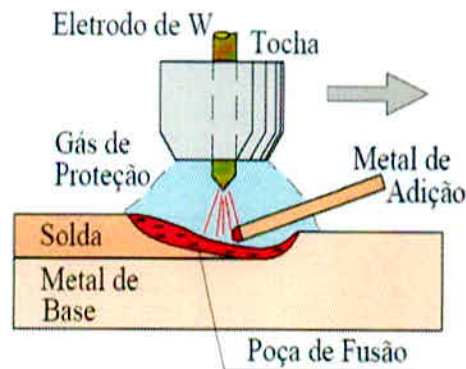


Figura 4 – Esquema do processo de soldagem GTAW
 Fonte: Modenesi técnica operatória de soldagem GTAW I

Para Marques (2002), este é um dos processos que produz soldas de alta qualidade e um dos mais utilizados na produção de soldas de ligas não-ferrosas, aços inoxidáveis, aços resistentes ao calor, entre outros.

Se comparado com o processo MIG, o processo GTAW apresenta uma taxa de deposição bem menor e se caracteriza por ter um custo mais elevado. Outros empecilhos para este processo é o fato de que não pode ser executado em locais onde haja correntes de ar e também por emitir uma alta intensidade de radiação ultravioleta. Pode ainda contaminar a solda por tungstênio Marques (2002). Pode-se atribuir a este processo a característica de possuir um excelente controle do calor que é transmitido à peça, devido ao controle independente da fonte de calor e da adição de metal de enchimento; este detalhe é muito parecido com o que acontece na solda oxiacetilênica. Com todos estes atributos, este processo se torna excelente para a utilização em soldagem de peças de pequena espessura e, devido à

proteção contra a contaminação, à soldagem de materiais de difícil soldabilidade, com ótimos resultados. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

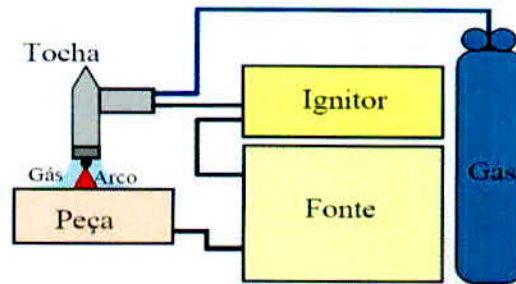


Figura 5 – Equipamento básico para soldagem GTAW
Fonte: Modenesi, técnica operatória de soldagem GTAW I

Aplicações:

- Soldagem de precisão ou elevada qualidade;
- Soldagem de peças de pequena espessura e tubulações de pequeno diâmetro;
- Soldagem de ligas especiais, não ferrosas;
- Passe de raiz na soldagem de tubulações.

Vantagens:

- Soldas com alta qualidade;
- Permite soldagem em qualquer posição;
- Permite automatização do sistema de soldagem;
- Permite soldagem sem utilizar metal de adição;
- Gera pouco ou nenhum respingo de solda.

Limitações:

- Produtividade relativamente baixa;
- Custo de consumíveis do processo muito alto.

2.6 – Processo de Soldagem GMAW (MIG/ MAG)

Neste processo, um eletrodo consumível na forma de arame é alimentado continuamente, formando um arco elétrico entre a sua ponta e a peça a ser soldada (AWS, *Welding Handbook*, 2007). Neste processo a proteção contra a oxidação da região da solda vem de um gás alimentado externamente, este fluxo tem a função de estabilizar o arco e refrigerar a pistola de soldagem. A próxima figura apresenta esquematicamente o processo.

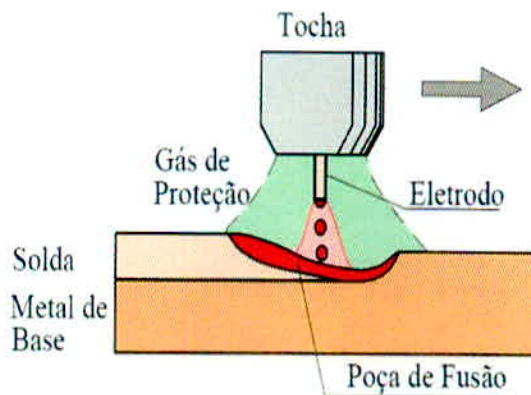


Figura 6 – Processo de solda GMAW

Fonte: Modenesi técnica operatória de soldagem GMAW I

Como define Marques (2002), quando é feito o uso de gases inertes, tais como argônio e hélio ou uma mistura deles, o processo é chamado de MIG (Metal Inert Gas). Este processo geralmente utiliza gases oxidantes como o dióxido de carbono e o oxigênio, separados ou misturados com gases inertes. Quando se tem esta “mistura” a soldagem é chamada de MAG (Metal Active Gas). Em linhas gerais, o processo MIG é indicado para as ligas não-ferrosas, enquanto o processo MAG é aconselhado para a soldagem de ligas ferrosas (Figura 7). (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

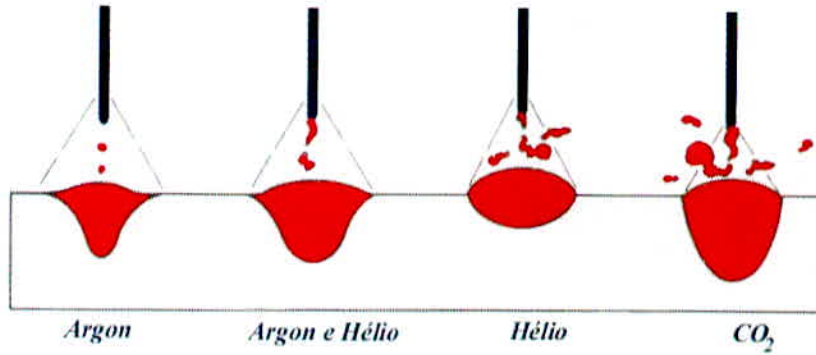


Figura 7 – Perfil de cordões de solda feitos com diferentes gases e misturas.
Fonte: Modenesi técnica operatória de soldagem GMAW

Este é um processo que possui uma facilidade muito grande de ser automatizado e possui como principais características conforme descreve Marques (2002), as altas taxas de deposição onde se tem uma quase total ausência de escória permitindo assim uma infinidade de passes sucessivos sem que haja uma limpeza constate e ainda se associa a isso uma baixa distorção; não podemos esquecer ainda da grande versatilidade nas orientações do processo de solda e a perfeita estabilidade do arco. Outro grande fator de qualidade deste processo é a alta qualidade da solda destes processos pelo fato de se ter uma baixa concentração de hidrogênio, desde que a limpeza do eletrodo e da junta seja assegurada. Como explica Marques (2002), a pouca deposição de escória que este processo apresenta faz com que as taxas de resfriamento proporcionem a ocorrência de trincas. Aliado a isso temos ainda o impasse de que o processo utiliza-se de equipamentos mais caros, complexos e difíceis de serem transportados quando comparado à soldagem por eletrodo revestido e não é de operação fácil em locais de difícil acesso. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

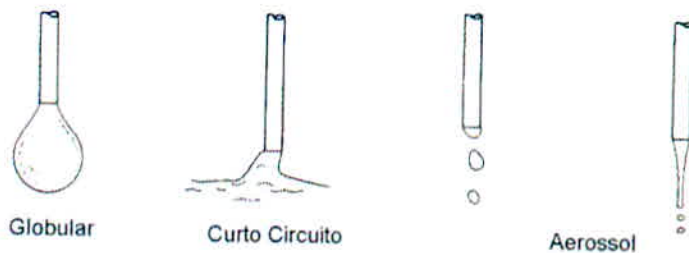


Figura 8 – Mecanismos de transferência metálica GMAW
Fonte: Modenesi – Técnica Operatória da Soldagem GMAW - 4

Este modo de transferência é muito criticado por apresentar uma grande instabilidade no arco, podendo apresentar a formação intensa de respingos. Porém se utilizada de forma profissional e com os parâmetros de soldagem adequados e ajuste da fonte de energia, de

forma que os curtos ocorram de forma suave, pode se tornar muito viável e de alta aplicabilidade nos diversos processos industriais. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Para eliminar este problema dos respingos utiliza-se uma reatância indutiva para controlar a velocidade de aumento da corrente de curto-circuito. Com isso a taxa de transferência da gota é da ordem de 20 a 200 vezes por segundo.

Tabela 2– Corrente de transição para arames de aço e de alumínio com diferentes diâmetros

Diâmetro do Eletrodo (mm)	Corrente de Transição (A)	
	Aço (Ar + 2% O ₂)	Alumínio (Argônio)
0,75	155	90
0,90	170	95
1,15	220	120
1,6	275	170

Fonte: AWS, *Welding Handbook*, 2007

Aplicações:

- Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas;
- Ampla utilização na indústria automobilística;
- Soldagem de tubulações.

Vantagens:

- Processo com eletrodo contínuo;
- Permite soldagem em qualquer posição;
- Elevada taxa de deposição e penetração;
- Solda diferentes ligas metálicas;
- Permite automatização do processo.

Limitações:

- Arco é sensível a corrente de ar;
- Equipamento relativamente caro e complexo;
- Pode apresentar dificuldade de soldagem de juntas de acesso restrito;

2.7 – Aluminotermia

Quando temos uma reação entre elementos metálicos extremamente redutores, como o alumínio, adicionado ao óxido de ferro, acontece a liberação de uma grande quantidade de energia onde se torna capaz uma reação que possibilita a fusão do ferro produzido (AWS, *Welding Handbook*, 2007), conforme a equação abaixo:



Esta reação ocorre dentro de um dispositivo chamado cadinho com revestimento refratário e elementos de liga podem ser adicionados à mistura aluminotérmica, como mostra a Figura 9. Toda a reação é auto-sustentável, embora possa requerer uma alta temperatura na ignição que fique em torno de 1200°C. Esta temperatura altíssima pode ser obtida pela adição de uma pequena quantidade de magnésio. Pode-se chegar a temperaturas da ordem de 2500°C. (Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992).

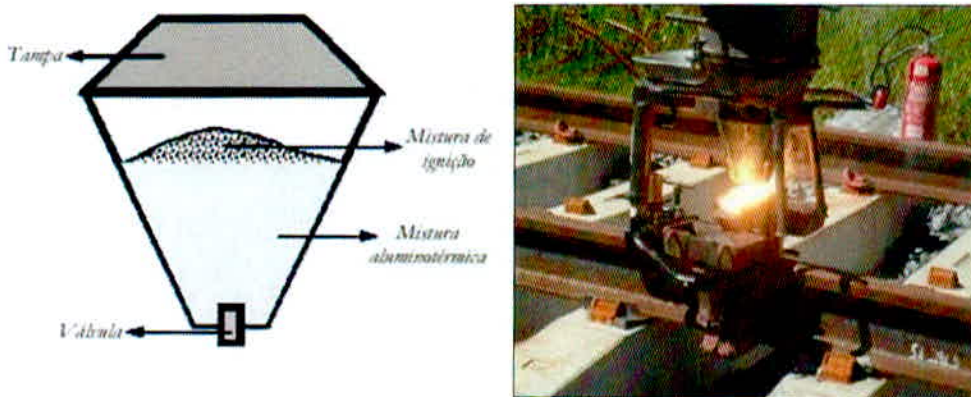


Figura 9: Cadinho utilizado no processo de soldagem aluminotérmica.
Fonte: Soldagem Fundamentos e Tecnologia Marques– Ed. UFMG 2005

Como explica Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992, uma vez fundido, este material de adição é depositado sobre a junta de solda por uma vazão feita no corpo do cadinho e devido às altas temperaturas, parte do material base também se funde. Este processo relativamente barato, necessita de equipamentos simples e não há consumo algum de eletricidade. Junto a tudo isso, todo o metal que é depositado na peça é homogêneo e de qualidade relativamente alta. É um processo que se aplica na soldagem de trilhos de trens, cabos de cobre, cobre em

aço e outras aplicações que necessitem de grandes quantidades de metais de solda, tais como grandes seções de estruturas de navios.

Aplicações:

- União de trilhos em ferrovias;
- Soldagem de cabos e fios elétricos;
- Soldagens de barras de reforço para tratamento térmico de soldas;
- Indústria naval;
- Construção civil.

Vantagens:

- Flexibilidade para soldagem no campo;
- Tempo de execução pequeno;
- Dispensa do uso de energia;
- Dispensa do uso de equipamentos complexos.

Limitações:

- Cuidados especiais com a segurança do operador;
- Cuidados especiais com a segurança do local;
- Necessidade de moldes para cada aplicação;
- Necessidade de pré-aquecimento.

2.8 - Soldagem por explosão

Neste processo a solda é produzida pelo impacto violento entre duas superfícies, por meio da detonação controlada de uma explosão sobre uma das partes (Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992). A união entre as placas ocorre por inter-travamentos mecânicos das ondulações criadas na superfície e por microfusão na interface (Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992).

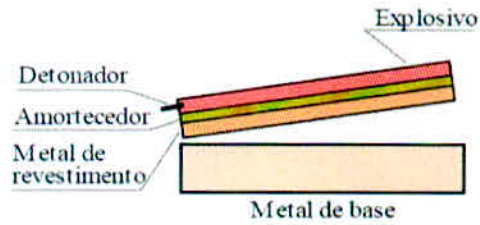


Figura 10 – Soldagem por explosão
 Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V.2011)

Podemos destacar como parâmetros mais importantes do processo, os seguintes, o ângulo de contato entre as placas, o acabamento superficial, além da velocidade de impacto que varia entre 150 m/s e 300 m/s, dependendo do material. (Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992).



Figura 11 – Micrografia da união de chapas por explosão.
 Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V. 2011)

Podemos utilizar praticamente todos os metais dúcteis. É aplicado no processo de revestimento (cladding) de chapas e internamente a tubos, podendo soldar materiais dissimilares, tais como titânio e aço, cobre e aço inoxidável e alumínio e aço.

Aplicações:

- Indústria Química e Petroquímica, (tanques e vasos de pressão);
- Tubulações e juntas;
- Indústrias Eletro intensivas, (terminais flexíveis e bi-metálicos);
- Construção Naval, (juntas de transmissão);
- Solda de materiais com diferentes pontos de fusão.

Vantagens:

- Permite soldagem de grandes áreas;
- Custo baixo;
- Não há necessidade de investimento com equipamentos;
- Não é necessária rígida limpeza das superfícies.

Limitações:

- Para aços carbono e baixa liga as superfícies sofrem endurecimento, sendo necessário um alívio de tensões posterior;
- Deve ser realizado distante de grandes centros.
- Processo deve ser realizado sob inspeção de pessoas capacitadas;
- Cargas de explosivos exigem mercado, transporte e armazenamento controlados.
- Processo perigoso.

2.9 - Soldagem com eletrodo tubular (FCAW)

Este processo é muito parecido com o processo de soldagem MIG/MAG, (AWS, *Welding Handbook*, 2007), a única diferença, porém é que a proteção da poça de solda é fornecida pelos gases e escória gerados pelo fluxo que se encontra no interior do eletrodo tubular conforme podemos ver na Figura 12. O desenvolvimento dos eletrodos tubulares é baseado em um tubo metálico preenchido com uma mistura de pó. O preenchimento de seu núcleo pode ser principalmente pó de ferro, com elementos de liga e alguns desoxidantes gerando um eletrodo tubular metálico, ou mineral similar àqueles usados para o revestimento de eletrodos revestidos, gerando um eletrodo tubular com fluxo. Possuímos dois tipos principais de eletrodo tubular com fluxo: rutilico e básico.

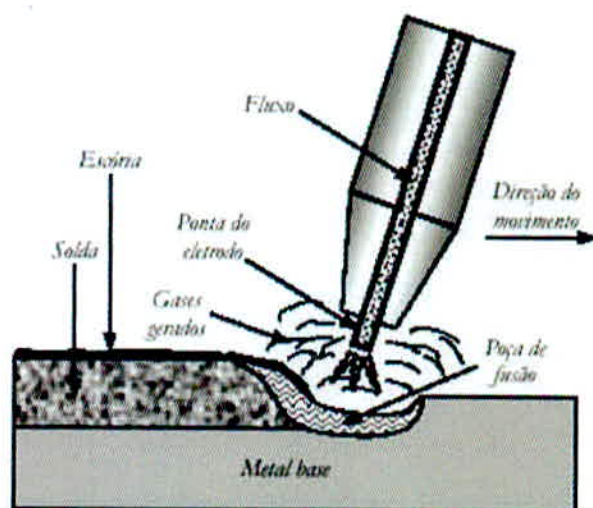


Figura 12 – Representação do processo de soldagem a arco com eletrodo Tubular

Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V. 2011)

O fluxo no processo FCAW é composto basicamente por um material fundente que possui em sua composição elementos que forma a escória, esse fluxo possui ainda estabilizadores de arco, desoxidantes, desnitrantes e elementos de liga. A principal vantagem é que se pode utilizar uma fonte suplementar de gás semelhante à dos processos MIG/MAG. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

As funções do fluxo são similares à que possui nos eletrodos revestidos de acordo com Stinchcomb, C., 1989, ou seja, desoxidar o metal de solda, transferir elementos de liga, aumentar a taxa de deposição, através do pó de ferro, formar escória e gás de proteção produzido pela decomposição de alguns de seus componentes, estabilizar o arco, estabelecer uma conveniente geometria para o cordão. Dessa forma podemos destacar como principais vantagens deste processo a alta qualidade do metal de solda que é depositado aliado a uma excelente aparência, além disso ainda podemos ressaltar a facilidade de mecanização do processo facilitando muito sua total automação se necessário, podemos ainda destacar a alta deposição devido à alta densidade de corrente, e, ainda a distorção reduzida quando comparada ao processo com eletrodo revestido; podemos ainda aliar a este processo a pequena necessidade de limpeza se comparado aos processos MIG/MAG e velocidades de soldagem relativamente altas. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Entretanto, o processo é limitado a ligas ferrosas, o eletrodo tubular tem maior custo que o sólido, a escória resultante do processo de soldagem apresenta a necessidade de ser removida e ocorre uma altíssima produção de gases que necessitam de atenção e devem ser removidos do meio. A classificação para os eletrodos tubulares para aços ao carbono é

composta na AWS A5.20 (AWS, *Welding Handbook*, 2007), pelos seguintes dígitos: AWS EXYT-Z, onde E, designa eletrodo; X, a mínima resistência à tração do metal de solda em 10.000 psi (69 MPa); Y, a posição de soldagem, sendo 0 para plano-horizontal e 1 para todas; T, indicando eletrodo tubular; Z, demais características de uso e operacionais. (Stinchcomb, C., 1989). Conforme classificação do IIW, os eletrodos tubulares podem ser desenvolvidos nas geometrias mostradas na Figura 13. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

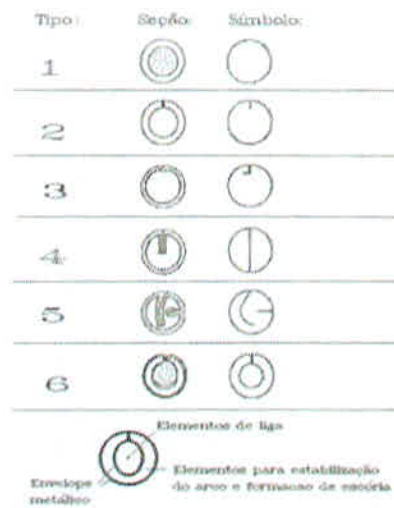


Figura 13 – Geometrias usuais dos eletrodos tubulares.

Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V. 2011)

No processo FCAW, de acordo com Stinchcomb, C., 1989, pode-se automatizar ou semi-automatizar como no Arco Submerso e no MIG/MAG, porém isso vai exigir uma fonte de energia com maior capacidade de corrente, como no Arco Submerso. Neste processo o metal de solda resfria lentamente fornecendo à solda boa ductilidade e também excelentes propriedades mecânicas. Este processo possui aplicação em diversas áreas porém se destacam algumas como a indústria nuclear, indústria naval, construção de plataformas de exploração de petróleo e fabricação de componentes e estruturas de aço-carbono, aços baixa liga e aços inoxidáveis. (Stinchcomb, C., 1989)

Aplicações:

Soldagens de aços carbonos e ligados;

Soldagem em fabricação, manutenção e montagem no campo;

Soldagem em peças ou equipamentos da linha automobilística

Vantagens:

- Elevada produtividade e eficiência;
- Soldagem em todas as posições;
- Custo de aplicação relativamente baixo;
- Permite soldas de boa qualidade e aparência.

Limitações:

- Gera elevada quantidade de fumos;
- Necessita de limpeza após o processo de soldagem;
- Equipamentos com custos elevados.

2.10 - Eletroescória e Eletrogás – ESW (Eletroslag Welding)

Este processo acontece com aplicação de um arco elétrico que inicia a fusão do fluxo, formando uma escória líquida constituída de uma mistura de silicatos e de até 20% de fundentes que têm por objetivo melhorar a fluidez e condutividade elétrica conforme afirma Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992. O processo de eletroescória é utilizado principalmente para soldar seções verticais com grande espessura em um único passe, utilizando deposição progressiva de material de adição por meio de eletrodos consumíveis (tubulares ou maciços) no vão entre as placas a serem soldadas. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

A poça de fusão e a escória são direcionadas por duas sapatas de cobre refrigeradas com um fluido, sendo geralmente água. Logo em seguida, mais fluxo é adicionado ao processo extinguindo o arco e a escória é mantida no estado líquido, a temperaturas de até 2000°C, à medida que o eletrodo funde, a poça de solda sobe e as sapatas de cobre acompanham o movimento vertical de soldagem, atuando como um molde (Figura 14). (Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992.).

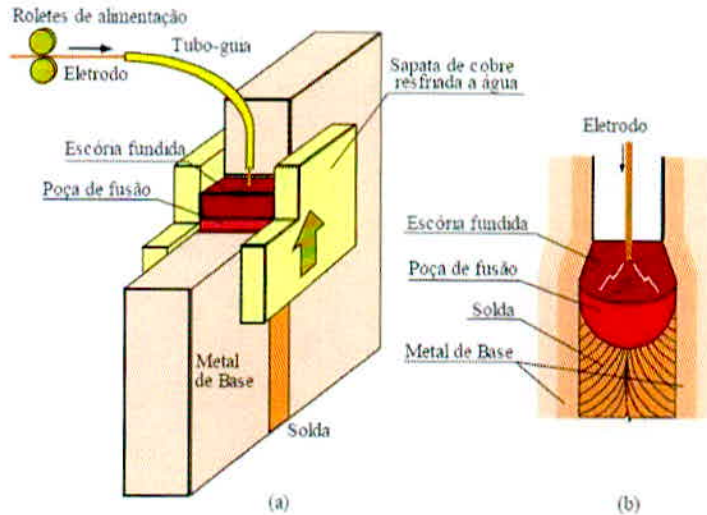


Figura 14: Soldagem ESW (a) Esquema geral do processo e (b) detalhe da região da poça de fusão
 Fonte: Processos de soldagem Marques (2011)

O processo de eletrogás apresenta características similares às configurações do processo de eletroescória, porém não faz uso da escória para proteção e poça de fusão é sustentada por arco elétrico durante todo o processo. Em alguns casos pode utilizar até dióxido de carbono ou ainda uma mistura deste gás com argônio para proteger a região da solda. Podemos então afirmar baseados nestas características que este processo é uma variante da soldagem MAG. (Wainer, E., Brandi, S.D. et. al, 1992.).

Se colocarmos à prova os processos de eletroescória e eletrogás, concluímos que o processo de eletrogás possui algumas vantagens: verificamos que o vão entre as chapas é reduzido além de não necessitar de limpeza de escória; é ainda aplicável em chapas de espessuras menores e as propriedades de tenacidade da solda são melhores. Já, por outro lado, o processo por eletroescória apresenta menor probabilidade de formação de trincas e distorção. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Se compararmos a utilização dos dois processos verificará que a soldagem por eletrogás é mais usada na união de chapas de aços-carbono, ou ainda, as ARBL (alta resistência e baixa liga) que são posicionadas na vertical, onde podemos encontrar este processo sendo utilizado principalmente em cascos de navios, tanques de armazenagem, edifícios, etc. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Aplicações:

Usado na fabricação de peças pesadas, principalmente de aço estrutural.

Tipicamente em juntas de 13 a 500 mm de espessura

Processo usado primariamente para união de duas ou mais peças (em grande maioria de grandes espessuras);

Vantagens:

Não há perdas do material de adição;

Não propícia a respingos;

Permite alta taxa de deposição;

Deposição em passe único;

Não há formação de descontinuidades, como porosidades e inclusões de escória.

Limitações:

Baixa produtividade (0,5 mm/ s)

Apresenta estrutura de granulação grosseira e tenacidade baixa (ocasionados longos tempos de processo com temperatura alta e posteriormente o resfriamento é lento

2.11 - Soldagem com eletrodo revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding)

Segundo a AWS, *Welding Handbook*, 2007, este processo é um dos mais utilizados devido à sua simplicidade. Neste processo o revestimento tem a função de estabilizar o arco, proteger o metal fundido por meio da formação de uma atmosfera de gases protetores e ainda fornecer elementos de liga à solda. Este processo é manual onde temos um soldador abrindo o arco elétrico onde provoca um curto-circuito inicial entre a superfície da peça e o eletrodo. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). Este é um processo muito utilizado em soldagens de campo e em manutenção por apresentar um baixo custo, produzir uniões soldadas com boas propriedades e possuir grande versatilidade, tanto com relação à posição de soldagem quanto ao projeto da junta. Um de seus contras é necessitar de mão-de-obra habilidosa, este processo exige do operador uma freqüente troca de eletrodos e quando se executam vários passes, é necessário que se remova a escória após a deposição de cada um deles.

O eletrodo revestido é constituído basicamente por uma vareta metálica, com diâmetro entre 1,5 e 8 mm e comprimento entre 23 e 45 cm, recoberta por uma camada de fluxo

(revestimento) como explica Modenesi e Marques (2005). O revestimento deste eletrodo serve para realizar as reações de refino metalúrgico, tais como: desoxidação, dessulfuração, etc.; serve ainda para formar uma camada de escória com a intenção de proteger e ainda facilitar a remoção da escória além de controlar as suas propriedades físicas e químicas. Outro grande atributo do revestimento é facilitar a soldagem nas diversas posições, reduzir o nível de respingos e fumos; diminuir a velocidade de resfriamento da solda e possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade além de aumentar a taxa de deposição (quantidade de metal depositado por unidade de tempo), entre outras (Figura 15). Modenesi e Marques (2005).

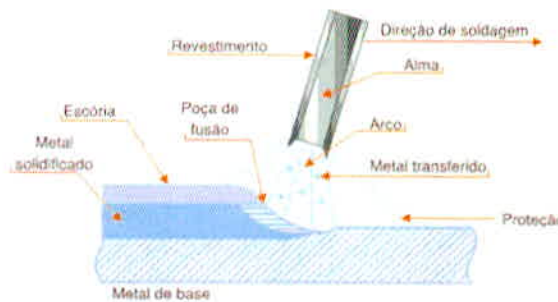


Figura 15 – Detalhes da soldagem com eletrodo revestido.
Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V. 2011)

Devemos dar destaque para o baixo custo e a simplicidade do equipamento necessário principalmente se comparado a outros processos e também a maleabilidade o que gera a possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou abertos, sujeitos à ação de ventos, são outras características importantes ao processo de soldagem. A grande versatilidade deste processo traz a possibilidade de inúmeras formulações para o revestimento e isso explica a principal característica deste processo associado à operacionalidade e características mecânicas e metalúrgicas do metal depositado. Modenesi e Marques (2005).

Se compararmos com outros processos, principalmente com a soldagem com eletrodo consumível e proteção gasosa e com a soldagem ao arco submerso, a soldagem com eletrodo revestido apresenta como principal revés a baixa produtividade, isso se destaca tanto em taxa de deposição, como em fator de ocupação do soldador, em geral inferior a 40%. Algumas outras limitações são a necessidade de um treinamento específico para o soldador, que é demorado e caro, particularmente para certas aplicações, necessidade de cuidados especiais com os eletrodos, principalmente com os do tipo básico, e o grande volume de gases e fumos gerados no processo, que podem ser prejudiciais à saúde, particularmente em ambientes fechados. Modenesi e Marques (2005).

Para Modenesi e Marques (2005)., os ambientes onde podemos utilizar este processo são diversos podendo ser usada na fabricação e montagem de diferentes equipamentos e estruturas, tanto em oficina como no campo, sendo particularmente interessante neste último caso. Este processo permite ser utilizado em um grande número de materiais que vão desde os aços-carbono, aços de baixa, média e alta liga, aços inoxidáveis, ferros fundidos, alumínio, cobre, níquel e ligas destes, porém os metais de baixo ponto de fusão como o chumbo, estanho e zinco e metais refratários ou muito reativos, como o titânio, zircônio, molibdênio e nióbio não possui uma boa soldabilidade neste processo.

Por conta da necessidade de cada material a ser unido por este processo existe no mercado um grande número de tipos de eletrodos, apresentando diferentes características operacionais, aplicáveis a diferentes materiais e que produzem soldas com diferentes características além de possuir diferentes materiais em seu revestimento como a celulose e dextrina, carbonatos e dióxido de titânio, ferro-manganês e ferro-silício, pó de ferro, outras adições metálicas, argilas, fluoreto de cálcio, silicatos e também o óxido de ferro e manganês.

Para possibilitar a diferenciação e padronizar o mercado os eletrodos revestidos possuem sua classificação baseada em acordo com sistemas propostos por diferentes sociedades. As classificações mais usadas no Brasil são as propostas pela AWS, listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações AWS para classificação de eletrodos revestidos.

Especificação	Tipos de Eletrodo
AWS A 5.1	Eletrodos revestidos de aço doce para soldagem a arco.
AWS A 5.4	Eletrodos revestidos de aço ao Cr e ao Cr-Ni, resistentes à corrosão, para soldagem a arco.
AWS A 5.5	Eletrodos revestidos de baixa liga para soldagem a arco.
AWS A 5.6	Eletrodos revestidos de cobre e ligas de cobre para soldagem a arco.
AWS A 5.11	Eletrodos revestidos de níquel e ligas de níquel para soldagem a arco.
AWS A 5.13	Eletrodos e varetas para revestimento por soldagem

Fonte: AWS, *Welding Handbook*, 2007

As principais variáveis deste processo: tipo e diâmetro do eletrodo; tipo, polaridade e valor da corrente de soldagem; tensão e comprimento do arco; velocidade de soldagem; técnica de manipulação do eletrodo e as seqüências de deposição e soldagem. Modenesi e Marques (2005).

Aplicações:

Representa 42% de utilização em relação a outros processos de soldagem

Vantagens:

Grande versatilidade de ligas soldáveis;
Inúmeras formulações para o revestimento;
Equipamentos de baixo custo;
Utilização em locais de difícil acesso.

Limitações:

Utiliza energia elétrica;
Baixa produtividade;
Necessita de operacionais treinados;
Processo gera gases e fumos;
Necessita de cuidados especiais com os eletrodos;
Eletrodo, consumível e reposição manualmente.
Necessário a utilização de vários equipamentos individuais EPI's

2.12 - Soldagem por arco submerso- (SAW Submerged Arc Welding)

Segundo estudo realizado por Paranhos e Souza (1999), este processo apresenta um o arco elétrico gerado entre a ponta de um eletrodo nu, sólido ou tubular. Neste processo a poça de fusão é totalmente recoberta por um fluxo granular que tem como principal função do fluxo formar uma camada de escória mais leve que flutua sobre o metal depositado, formando assim uma proteção contra a atmosfera. Aqui o fluxo fornece todos os elementos de ligas além de atuar como isolante térmico, eliminar faíscas, luminosidade e respingos (Figura 16). (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

O processo de soldagem a arco submerso (AS) é largamente empregado nas indústrias devido à sua facilidade de operação e produtividade. Paranhos e Souza (1999), A participação

deste processo corresponde à cerca de 10% do volume de material de solda a arco elétrico. Aqui no nosso país este processo é utilizado na fabricação de tubos metálicos, partes de navios, perfis, vasos de pressão, trocadores de calor, caldeiras e todo tipo de equipamento pesado.

O processo de soldagem com arco submerso é muito similar ao MIG/MAG (Metal Inert Gas/ Metal Active Gas) por apresentar um eletrodo em forma de bobina alimentado através de uma unidade de alimentação de eletrodo em direção à peça de trabalho. A corrente é transferida através de um bico de contato. Para Paranhos e Souza (1999), a característica marcante deste processo é que ele permite o uso de eletrodos contínuos e de altas correntes. Sua principal diferença a este processo está no fato de que no processo MIG/MAG a proteção do eletrodo e da poça de solda é feita através de gás e, no caso do processo do arco submerso a proteção é feita por um fluxo alimentado separadamente. Este fluxo uma completa cobertura do arco e da poça de fusão, assim o arco não é visível e a soldagem desenvolve-se sem respingos, luminosidade e radiação o que possibilita ao operador abrir mão do uso de máscara ou capacete de proteção.

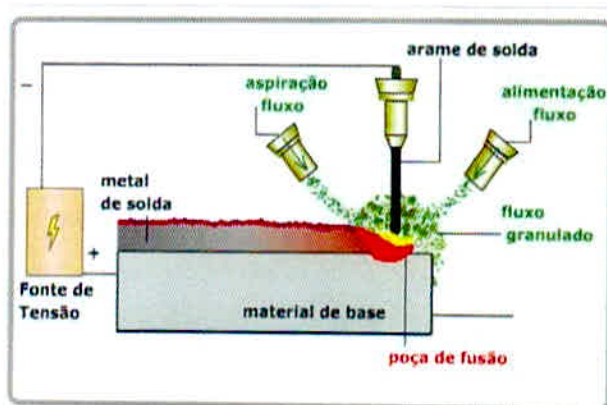


Figura 16 – Processo de soldagem por arco submerso.

Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V. 2011)

Podemos destacar a soldagem a arco submerso por ser um processo estável e suave, que, dentre outras boas características, gera poucos fumos de soldagem e quase nenhum respingo e resulta em cordões com acabamento uniforme e com uma transição suave entre o metal de solda e o metal de base. O processo por arco submerso pode ser utilizado tanto para união quanto enchimento e revestimento de peças metálicas. Aqui no Brasil, por conta da disponibilidade de fluxos e eletrodos, o processo tem sido usado em aços-carbono, aços de

baixa liga, aços inoxidáveis e alguns tipos de revestimento. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

De acordo com o estudo de Paranhos e Souza (1999), o fluxo fundido reveste a solda metálica e assim protege do meio ambiente durante a solidificação e, devido ao modo de alimentação do fluxo, permite soldagens apenas na posição plana ou horizontal. Na soldagem a arco submerso, pode-se automatizar quase todo o processo, sendo que a alimentação do eletrodo ocorre de forma contínua, isso traz uma maior rapidez, economia e repetibilidade de resultados, a facilidade deste processo se dá pelo fato do fluxo e também do eletrodo poder ser alterados a qualquer momento. Outra característica é a eficiência de deposição que se aproxima de 100%, pois não há perdas de metal por respingos. A perda de calor através do arco é baixa, devido ao efeito de isolamento térmico proporcionado pela camada de fluxo.

Aplicações:

Aços carbono, aços estruturais de baixa liga e inoxidáveis, aços alto carbono e ligas de níquel;

Vasos de pressão, navios, vagões, tubos, revestimento e recuperação de peças;

Vantagens:

Processo automatizado

Grande Rendimento Térmico;

Elevada produção de metal de adição;

Alta produtividade;

Grande penetração (diminui necessidade de chanfro);

Dispensa uso de protetores visuais.

Limitações:

Limitado a posição plana e horizontal;

Praticamente impossível de soldar juntas de difícil acesso;

Remoção de escória em cada passe.

2.13 - Soldagem por fricção

Neste processo utiliza-se uma parte rotacionada em alta velocidade e se pressiona a mesma sobre a outra parte estacionária, gerando calor pelo atrito na interface. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). O calor gerado amolece o material, que sob a ação da pressão forma a solda. Uma determinada quantidade de material extrudado forma-se ao longo da interface, como conseqüência da pressão resultante do processo e do calor de contato. O processo é difícil de ser aplicado a materiais com baixo coeficiente de atrito, tais como bronzes e latões com mais de 0,3% de chumbo e em ferros fundidos (Figura 17).

Este processo é capaz de soldar materiais dissimilares, apresenta baixa distorção além de excelentes propriedades mecânicas aliadas a porosidade mínima, ausência de gases, baixo custo e o uso de equipamentos mecânicos simples e com menor consumo de energia. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

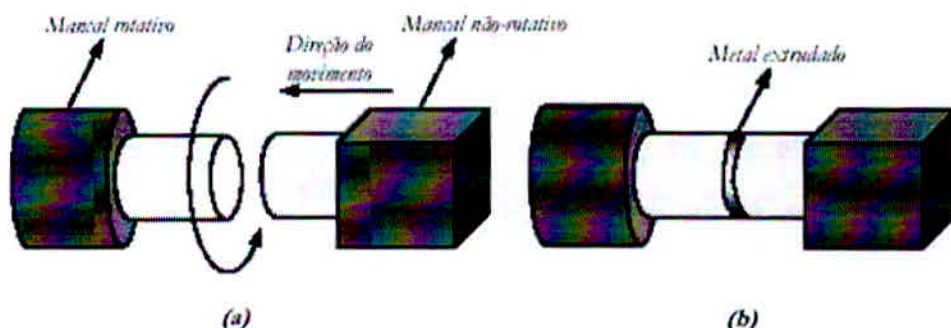


Figura 17 – Processo de soldagem por fricção: (a) aproximação, (b) após soldagem.
Fonte: Introdução aos processos de soldagem (P.V. 2011)

Aplicações:

Soldagem subaquática;

Indústria Automobilística (quando a peça é composta por dois componentes de metais e diferentes pontos de fusão);

Indústria Aeronáutica, Metal mecânica, Petrolífera (soldagem subaquática), Militar.

Vantagens:

Processo automatizado;

A ZTA (zona termicamente afetada) é relativamente estreita, comparada aos outros métodos de soldagem;

Não necessário treinamentos prolongados para executar este processo;

Não permite efeitos de porosidade no cordão de solda.

Limitações:

É obrigatório que uma das peças da solda seja cilíndrica;

Um dos materiais deve ser plasticamente deformável;

O atrito e aquecimento das peças devem ser precisos;

Não pode soldar peças de ferro fundido, pois o grafite atua como lubrificante;

O custo das máquinas e das ferramentas é relativamente alto.

3 - SIMBOLOGIA E TERMINOLOGIA DA SOLDAGEM

Segundo a AWS, *Welding Handbook* (2007) podemos definir a soldagem como uma operação que visa obter a união de peças, e a solda é o produto desta operação. Chama-se junta, a região onde as peças serão unidas por soldagem. A Figura 18 nos mostra alguns tipos de junta.

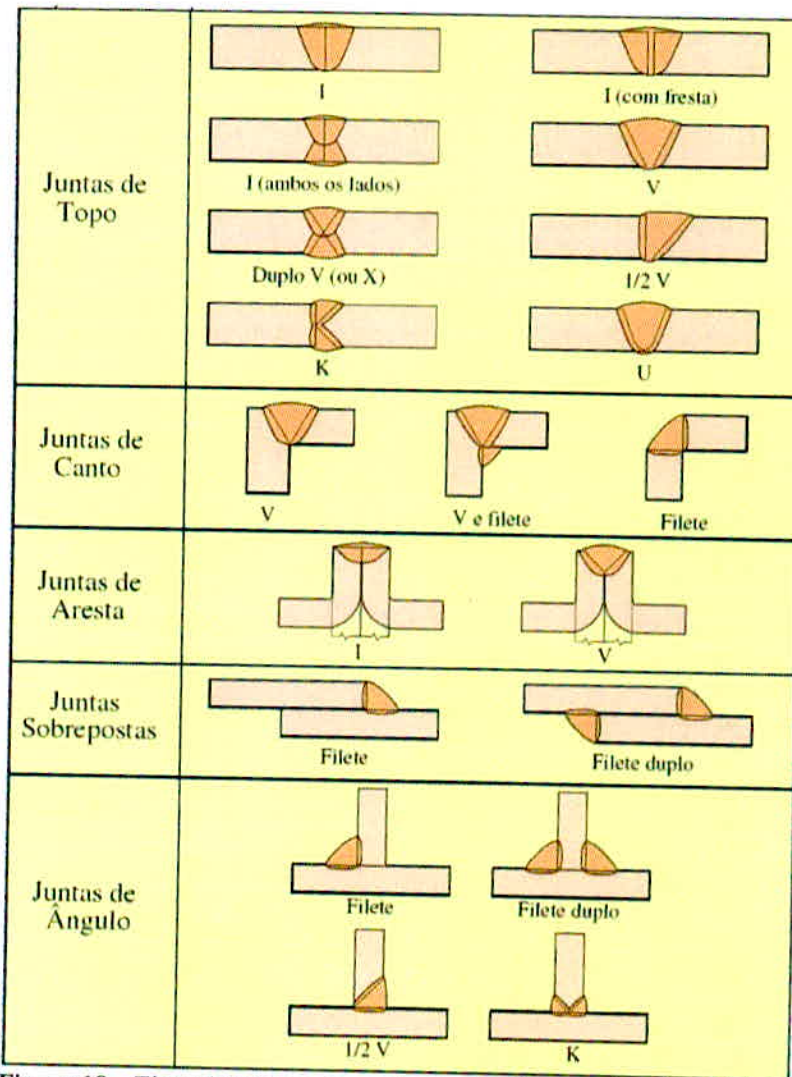


Figura 18 – Tipos de juntas e exemplos de chanfros

Fonte: Terminologia de soldagem e Símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

O posicionamento das peças para união determina os vários tipos de junta que possuímos na soldagem. Muitas vezes devido às dimensões das peças, a facilidade de se movê-las e necessidades do projeto, existem a preparação das peças para soldagem, na forma de cortes ou conformação especial da junta. Estas aberturas ou sulcos na superfície da peça ou peças a serem unidas e que determinam o espaço para conter a solda recebem o nome de chanfro. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Devemos atentar para o fato de que todo o tipo de chanfro que venha a ser utilizado em uma soldagem específica é escolhido baseando-se no processo de soldagem, espessura das peças, suas dimensões inclusive na facilidade de movê-las, facilidade de acesso à região da solda, etc. Os tipos de chanfros mais comuns usados em soldagem são mostrados na Figura 19 e suas características dimensionais são mostradas na Figura 20.

Já a Figura 21 mostra algumas dimensões e regiões importantes de uma solda de topo e de uma solda em ângulo (filete). Verificamos que a posição da peça a ser soldada e do eixo da solda determinam a posição de soldagem, que pode ser plana, horizontal, vertical ou sobre cabeça (Figura 22). (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

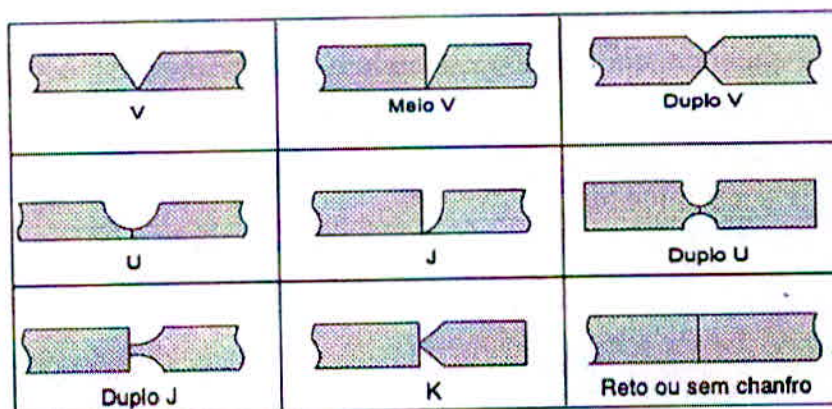


Figura 19 – Tipos de chanfro.

Fonte: Terminologia de soldagem e Símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

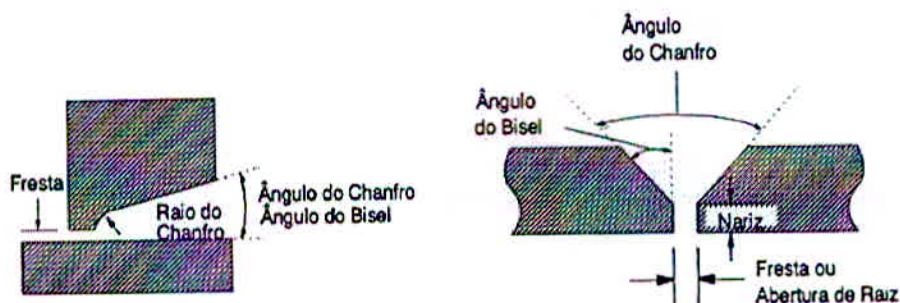


Figura 20 – Características dimensionais de chanfros usados em soldagem.

Fonte: Terminologia de soldagem e Símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

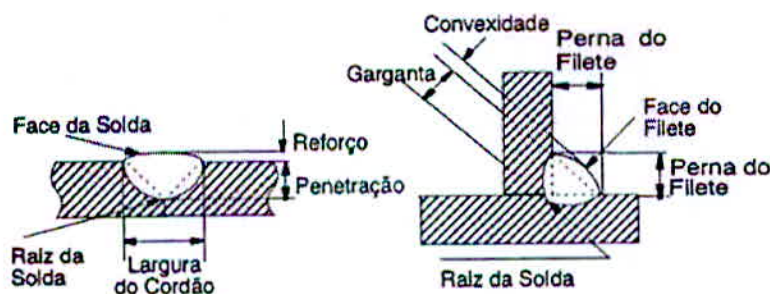


Figura 21 – Algumas dimensões e regiões de soldas de topo e filete

Fonte: Terminologia de soldagem e Símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

A simbologia da soldagem consiste em uma série de símbolos, sinais e números, que são dispostos de uma forma particular para que forneçam informações sobre uma determinada solda ou operação de soldagem. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). Estes elementos, que podem ou não ser usados numa situação particular, são, segundo a norma AWS A 2.4-86: linha horizontal; seta; símbolo básico da solda; dimensões e outros dados; símbolos suplementares; cauda; especificação do processo de soldagem ou outra referência. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

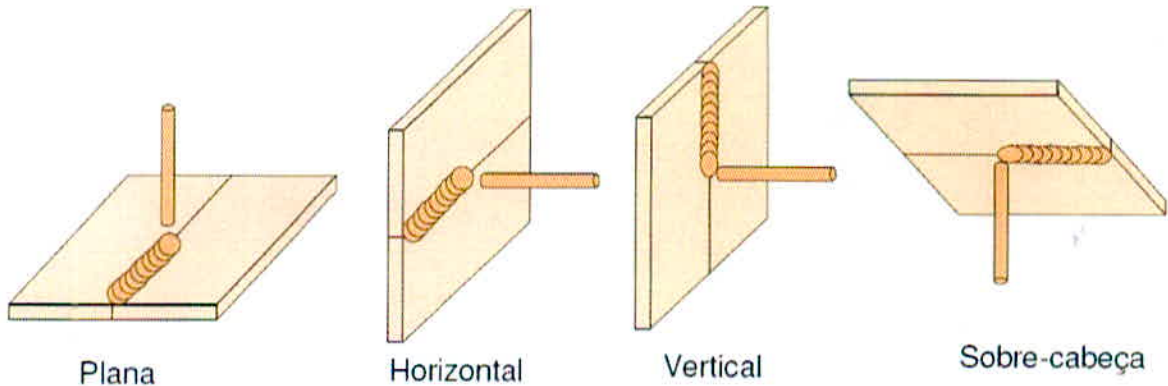


Figura 22 – Posições de soldagem

Fonte: Terminologia usual de soldagem e símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

Para simplificar todos estes símbolos temos como elemento básico de um símbolo de soldagem a linha de referência, colocada sempre na posição horizontal e próxima da junta a que se refere. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). Podemos verificar que nesta linha são colocados os símbolos básicos da solda, símbolos suplementares e outros dados. A seta indica a junta na qual a solda será feita e na cauda são colocados os dados relativos ao processo, procedimento ou outra referência quanto à forma de execução da soldagem. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). Na Figura 23 temos a localização dos elementos de um símbolo de soldagem, onde: (a) Símbolo básico da solda; (b) Símbolos suplementares; (c) Procedimento, processo ou referência; (d) Símbolo de acabamento. Temos ainda as posições representadas pelas letras A, E, L, N, P, R, S que são na verdade números que representam dimensões e outros dados, como por exemplo: A – ângulo do chanfro; E – garganta efetiva; L – comprimento da solda; N – número de soldas por projeção ou por pontos; P – distância centro a centro de soldas intermitentes; R – abertura de raiz; S – tamanho da solda. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

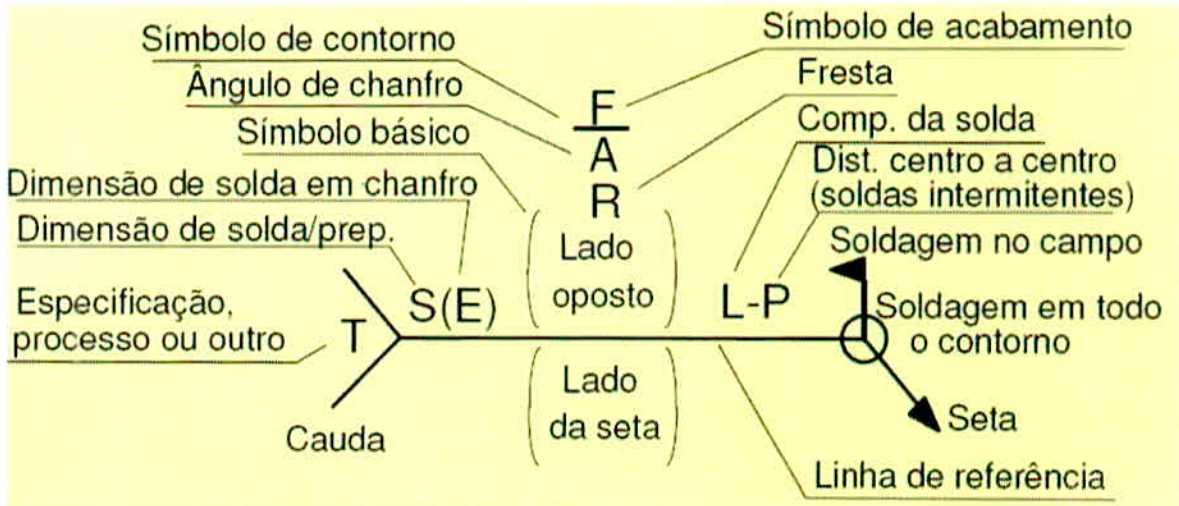


Figura 23 – Localização dos elementos de um símbolo de soldagem.

Fonte: Terminologia de soldagem e Símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

Se colocarmos o símbolo básico sob a linha de referência, essa solda ficará confeccionada do mesmo lado em que se encontra a seta. Caso o símbolo esteja sobre a linha de referência, a solda deve ser realizada do lado oposto à seta. Porém devemos observar que mais de um símbolo básico pode ser usado de um ou dois lados da linha de referência. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Devemos atentar ainda a diversos números que correspondem às dimensões ou outros dados da solda, estes são colocados em posições específicas em relação ao símbolo básico. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). O tamanho da solda e também a sua garganta efetiva são colocados à esquerda do símbolo. Nas soldas em chanfro, se estes números não são colocados, subentende-se que a penetração deve ser total. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). A abertura de raiz ou a profundidade de soldas do tipo “plug” ou “slot” é colocada diretamente dentro do símbolo básico da solda, já à direita do símbolo podem ser colocados o comprimento da solda e a distância entre os centros dos cordões, no caso de soldas intermitentes. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Para a AWS, *Welding Handbook* (2007), os símbolos suplementares são usados em posições específicas do símbolo da soldagem (Figura 24 e 25). Além destes, existem símbolos de acabamento, que indicam o método de acabamento da superfície da solda. Estes símbolos são representados dessa forma: C – rebarbamento; G – esmerilhamento; M – usinagem; R – laminação; H – martelamento. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Soldar em todo o Contorno	Solda de Campo	Fusão no Reverso	Contorno da Solda		
			Plano	Convexo	Côncavo

Figura 24 – Símbolos suplementares.

Fonte: Terminologia de soldagem e Símbolos de soldagem – Modenesi (2008)

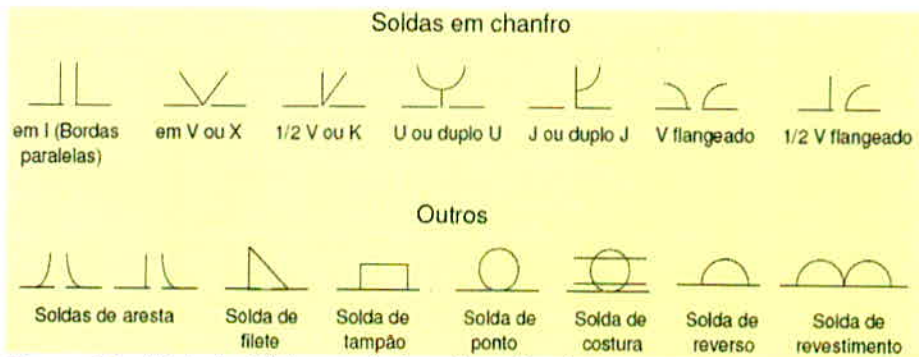


Figura 25 – Símbolos básicos mais de solda e chanfros que serão usados.

Fonte: Terminologia de Soldagem Modenesi (2008)

4 - PROPRIEDADES ESTRUTURAL DA SOLDAGEM

As propriedades de uma junta soldada são basicamente as funções das propriedades mecânicas do metal base, da zona termicamente afetada, bem como do metal depositado e ainda das características dinâmicas da junta, as quais variam de acordo com a geometria da junta e o nível de tensões nela atuantes. Svensson (1994).

Segundo Svensson (1994), as propriedades de tração, por exemplo, são governadas pelo mais crítico dos fatores que foram descritos acima.

Em juntas soldadas de aços estruturais, a resistência à tração e a ductilidade do metal depositado são, em geral, superiores às do metal base, desde que o processo de soldagem e os materiais de consumo sejam os recomendados e a junta não apresente defeitos considerados condenáveis. Com isso toda a elongação e a ductilidade do metal depositado variam com o processo de soldagem e o material de consumo utilizado, dessa forma, estes dois parâmetros deverão ser selecionados de acordo com o procedimento de soldagem e as propriedades do material a ser soldado. A resistência do metal depositado também varia de acordo com a localização na junta soldada, de maneira que é muito importante especificar de onde será

retirado o corpo de prova, para a realização do ensaio de tração. Podemos verificar na tabela 3 onde estão apresentados os valores das propriedades mecânicas do metal depositado com eletrodos revestidos de aço doce, tomando-se como parâmetro o tipo de revestimento. Svensson (1994).

Tabela 4 – Exemplos de propriedades mecânicas específicas para metais depositados de eletrodos revestidos.

<i>Classificação do Eletrodo</i>	<i>Tipo de Revestimento</i>	<i>Limite de Ruptura (kgf/mm²)</i>	<i>Limite de Escoamento (kgf/mm²)</i>	<i>Elongação (%)</i>	<i>Energia Absorvida no Ensaio Charpy-V, a 0°C (kgf · m)</i>
D4301	Ilmenítico	43	35	22	4,8
D4303	Cal-titânio	43	35	22	2,8
D4311	Celulósico, com potássio	43	35	22	2,8
D4313	Rutílico, com potássio	43	35	17	–
D4316	Básico, com potássio	43	35	25	4,8
D4324	Rutílico, com pó de ferro	43	35	17	–
D4326	Básico, com potássio	43	35	25	4,8
D4327	Ácido, com pó de ferro	43	35	25	2,8
D4340	Ácido	43	35	22	2,8

Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

4.1 - Tenacidade da Junta Soldada

Baseado nos estudos elaborados por Svensson (1994). sabe-se que a resistência do material a carregamentos estáticos é, em geral, bastante diferente do seu comportamento em relação a solicitações dinâmicas. A este fenômeno costuma-se chamar tenacidade à capacidade do material absorver um considerável nível de energia, antes de se romper (Figura 26). (AWS, *Welding Handbook* (2007)).

Existe uma noção errônea em que se defende que quanto maior a resistência à ruptura do material, maior será sua tenacidade. Mesmo que dois materiais apresentem o mesmo valor de limite de ruptura, suas tenacidades poderão variar consideravelmente, em função de sua composição química. (AWS, *Welding Handbook* 2007),

Uma avaliação quantitativa da tenacidade dos materiais pode ser efetuada pela energia absorvida pelos corpos de prova durante a realização dos ensaios de impacto, a tenacidade de um determinado metal decresce com a queda da temperatura do meio em que está e cai

abruptamente, quando a temperatura baixa até um determinado valor. Esta diminuição repentina de tenacidade é denominada transição característica do metal e, quando a temperatura do meio torna-se inferior àquele valor mencionado, o material se rompe de uma forma totalmente frágil. Svensson (1994).

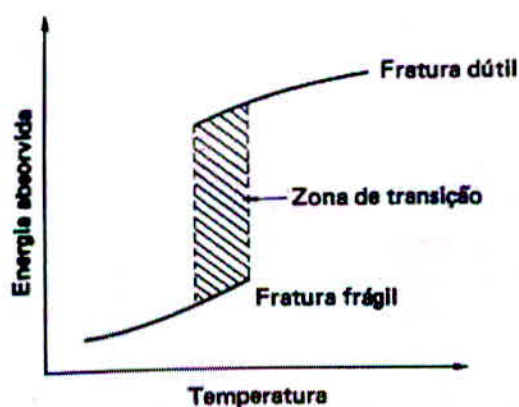


Figura 26 – Transição do tipo de fratura
Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

4.2 - Eficiência da Soldagem

Para Svensson (1994) toda a eficiência de uma junta é considerada tomando por base o cálculo da tensão admissível da junta soldada, e pode ser definida como sendo um fator de redução de tensão em relação à tensão admissível do metal base. É determinada em função do material de soldagem, do procedimento, do método de inspeção e das condições de serviço da junta soldada, dessa forma temos a seguinte relação:

$$Eficiência_da_junta(\eta) = \frac{Tensão_admissível_da_junta(f_w)}{Tensão_admissível_do_metal_base(f)}$$

Toda a eficiência da junta depende de fatores enumerados e também da tensão admissível. Assim, a comparação dos valores de eficiência de juntas não tem qualquer significado prático. Vejamos a seguir o comparativo de eficiência. Svensson (1994).

Tabela 5 – Exemplos de eficiências de juntas soldadas

Juntas		Eficiência da Junta (%)		
		Com Radiografia Total	Com Exame Radiográfico Parcial	Sem Exame Radiográfico
(1)	Junta de topo soldada de ambos os lados ou junta de topo soldada de um dos lados, com resistência equivalente	100	95	70
(2)	Junta de topo com cobre-junta remanescente	90	85	65
(3)	Junta de topo executada de um só lado	–	–	60
(4)	Junta superposta, com filete duplo e altura total	–	–	55
(5)	Junta superposta, com filete simples e solda de bujão	–	–	50
(6)	Junta superposta, com filete simples, sem solda de bujão	–	–	45

Fonte: SVENSSON, 1994, AWS, *Welding Handbook*, v.1, 2001

5 - CONTROLE DA QUALIDADE APLICADA NA SOLDAGEM

Não restam dúvidas de que o processo de soldagem é extremamente versátil, os componentes soldados estão presentes em todos os ambientes e dispositivos de nossas vidas, vão desde uma simples cadeira até a tecnologia espacial. É presença garantida em aplicações de alta responsabilidade, tal como nas indústrias nuclear, petroquímica e aeroespacial e, dessa forma, um defeito de soldagem pode resultar em conseqüências catastróficas, tanto para o ser humano quanto para o meio ambiente. (AWS, *Welding Handbook* 2007).

Analisando todo o processo, assegurar a qualidade de um componente soldado é extremamente complicado já que a soldagem é uma operação que possui um grande número de variáveis, sendo que algumas delas são difíceis de serem controladas ou quantificadas. Com a finalidade de minimizar a probabilidade de falha em componentes soldados, os seguintes parâmetros devem ser levados em consideração: soldabilidade do material base; compatibilidade entre material base e metal de adição; geometria do eletrodo; cálculo de esforços; geometria de seções e juntas; equipamentos e parâmetros de processo, tais como corrente elétrica e tensão, pressão aplicada, temperatura, tipo de gás de proteção; nível de qualificação do corpo técnico; tratamentos térmicos antes e após a soldagem; custo, levando em conta a disponibilidade de insumos de produção; ensaios destrutivos e não destrutivos; normas, códigos e procedimentos. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Visto todas as variáveis que podem e devem ser monitoradas, o grande desafio para a implementação de uma política de qualidade de soldagem é ter e manter um sistema de auditoria e rastreabilidade que sejam capazes de determinar o mais rapidamente possível qual variável do processo foi responsável pelo surgimento da não conformidade e tomar medidas corretivas e preventivas.

Dentre os principais tipos de não-conformidades encontradas em componentes que utilizam a soldagem são as distorções e descontinuidades (defeitos). As distorções são causadas pela presença de tensões residuais geradas durante as etapas de aquecimento e resfriamento da soldagem; adicionalmente as distorções são fortemente dependentes da geometria e dimensões do componente. Existe uma quantidade muito grande de defeitos de soldagem. Alguns autores especializados em tecnologia da soldagem, citam mais de 40 tipos diferentes de defeitos. Entretanto, estes defeitos podem ser agrupados nas seguintes categorias: cavidades, fusão e penetração incompletas; trincas; inclusões e geometria. (Svensson, L.E., 1994).

5.1 - Definições de Cavidades, Fusão e Penetração Incompletas

Svensson (1994) destaca a porosidade como a forma mais comum de cavidades encontradas em materiais soldados, especialmente naqueles em que ocorre a fusão. São constituídas de bolhas de gás aprisionadas durante a solidificação do metal. Podem ocupar posições superficiais ou internas e são causadas, dentre outros motivos, por umidade, sujeira, graxa, tintas na superfície, fluxo de gás incorreto e fluxo excessivamente fino. Outra forma de cavidade são os vazios de contração que surgem também chamados de rechupes; este defeito de soldagem acontece principalmente quando não existe metal líquido suficiente para compensar a contração de solidificação. Svensson (1994).

Outro defeito comum que causa as cavidades é a fusão e penetração incompletas, a fusão incompleta é um tipo de descontinuidade da solda devido à fusão insuficiente entre o metal de solda e as faces do chanfro ou entre os passes de solda. Neste caso, ocorre apenas uma aderência superficial e o defeito é caracterizado como planar. Por outro lado, a penetração incompleta é a falta de preenchimento total do espaço da junta.

Podem-se destacar como principais motivos para a ocorrência deste tipo de defeito a energia insuficiente de soldagem, preparação inadequada da junta, parâmetros incorretos de soldagem, eletrodo incorreto, desvio do arco, entre outros. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

5.2 - Definição de Trincas

As trincas são as descontinuidades que propiciam uma alta concentração de tensão e que podem levar à fratura prematura e/ ou catastrófica do componente soldado. As trincas surgem principalmente devido a parâmetros e procedimentos inadequados de processo que proporcionam o surgimento de tensões residuais de tração excessivas e pela fragilização do material. Svensson (1994).

Para Svensson (1994), as trincas são consideradas as descontinuidades mais graves em soldagem por serem fortes concentradores de tensão, podendo favorecer o início de fratura frágil na estrutura soldada. De um modo bem simples, uma trinca é o resultado da incapacidade do material em responder às solicitações impostas localmente pelas tensões decorrentes do processo de soldagem. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Este estado de tensões, juntamente com a fragilização associada às mudanças microestruturais durante a soldagem e/ou a presença de certos elementos (particularmente o hidrogênio), pode resultar na formação de trincas. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Podemos classificar as trincas quanto à localização, orientação ou ainda temperatura em que se formam. Svensson (1994).

Quanto à localização, as trincas podem ser superficiais ou internas ou ainda podem ser classificadas em relação à localização na região de soldagem. Podem ainda estar ocupando posições transversais, longitudinais ou radiais, em relação ao cordão de solda (Figura 27).

Com relação à temperatura, as trincas podem ser quentes, quando ocorrem durante ou imediatamente após a soldagem, ou frias, quando surgem após o resfriamento do material até a temperatura ambiente. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

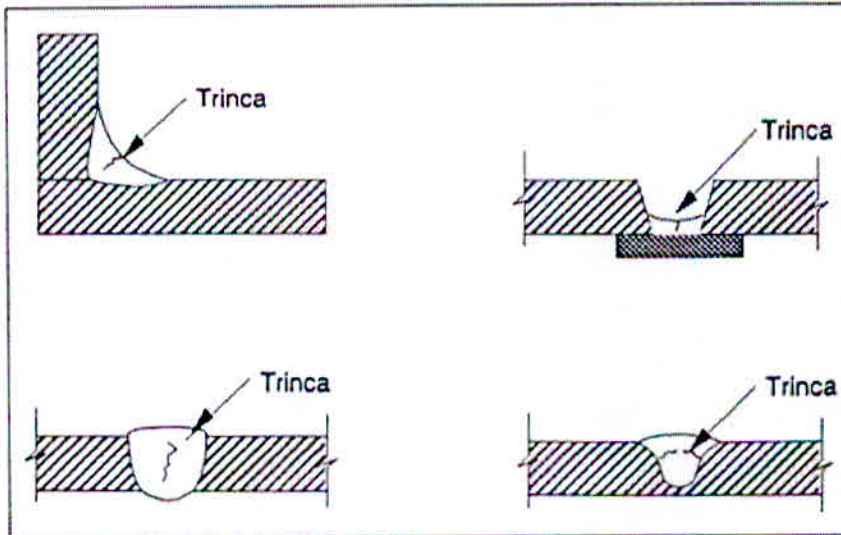


Figura 27 – Influência do formato do cordão na sensibilidade à trincamento.
 Fonte: SVENSSON, 1994, AWS, Welding Handbook, v.1, 2001

5.3 - Definições de Inclusões

Segundo a AWS, *Welding Handbook* (2007), as inclusões são normalmente encontradas no cordão de solda, em regiões subsuperficiais. Podem ser classificadas em contínuas, intermitentes ou aleatórias e podem ser constituídos ainda de escória, fluxo ou óxidos.

Pode-se destacar como principal motivo para a ocorrência de inclusões a limpeza deficiente entre os passes, técnica errada de soldagem, posicionamento incorreto do eletrodo, aporte de energia insuficiente, atmosfera protetora ineficiente, entre outros. Svensson (1994).

5.4 - Defeitos de Geometria

Svensson (1994) define como defeitos geométricos aquelas discontinuidades da soldagem que resultam em um perfil de solda imperfeito ou inaceitável.

Um dos principais defeitos geométricos é a mordedura que consiste em uma depressão, em forma de entalhe, ao longo da solda entre o metal base e o cordão. É um tipo de defeito perigoso, pois pode facilmente iniciar uma trinca por fadiga.

Os defeitos geométricos podem ser provocados também por uma movimentação ou posicionamento incorreto das chapas soldadas, podendo originar desalinhamentos ou ângulos incorretos entre as chapas. A Figura 28 mostra alguns exemplos de perfis de solda inadequados. Svensson (1994).

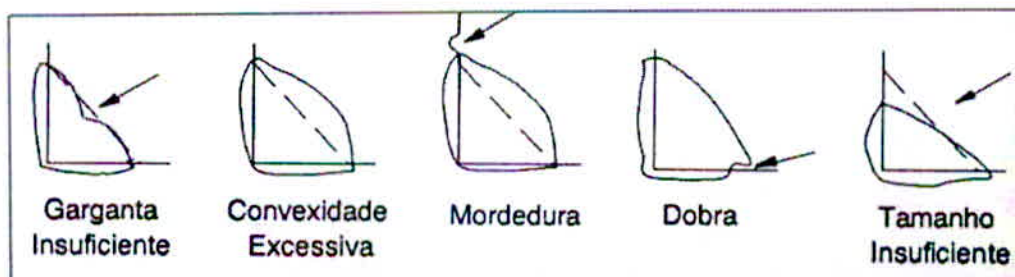


Figura 28 – Exemplos de perfis de solda inadequados (esquemático).
 Fonte: SVENSSON, 1994, AWS, *Welding Handbook*, v.1, 2001

6 - ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

Os ensaios não destrutivos, END, são testes realizados em materiais acabados ou semi-acabados para que se possa verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, sem interferir em seu uso posterior de acordo com a AWS. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Estes ensaios são utilizados na fabricação, construção, montagem e inspeção em serviço e manutenção, sendo largamente utilizados em soldas, fundidos, forjados, entre outros. Para se obter resultados dentro da conformidade, devem ser considerados como elementos fundamentais para o resultado destes ensaios: pessoal treinado e qualificado; procedimentos de execução de ensaios qualificados com base em normas e critérios de aceitação perfeitamente definidos; equipamentos devidamente calibrados.

Dentre os diversos métodos que existem para estes ensaios os mais utilizados são a inspeção visual; líquido penetrante; partícula magnética; ultra-som e a radiografia (raios X e gama). (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

6.1 - Líquido penetrante - L.P.

É sem dúvida o ensaio mais utilizado para detectar discontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, etc. Pode ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira. Este ensaio é muito utilizado em materiais não magnéticos. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Muito utilizado ainda para cerâmicas vitrificadas, vidros e plásticos.

Para este método é utilizado como ferramentas um penetrante e um revelador, o penetrante entra na abertura da descontinuidade um líquido, depois, após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada na superfície. A Figura 29 mostra os tipos mais comuns de trinca.

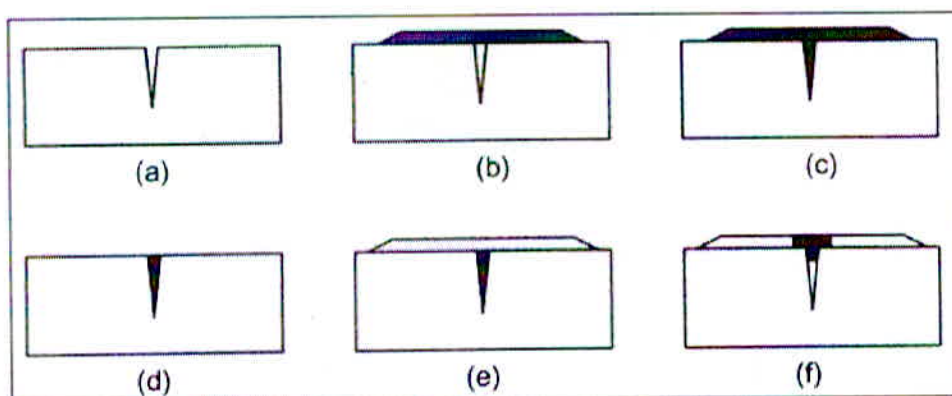


Figura 29 – Aplicação da inspeção com líquidos penetrantes: (a) peça com trinca superficial, (b) aplicação do líquido penetrante, (c) penetração, (d) remoção do excesso de líquido, (e) aplicação do revelador e (f) formação da indicação da trinca.

Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

Para que seja realmente efetivo em sua aplicação o executante deste processo deve fazer toda a preparação da superfície (limpeza inicial); aplicação do penetrante; remoção do excesso de penetrante; revelação; avaliação e inspeção; limpeza pós-ensaio. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Quando comparado com outros métodos tem as seguintes vantagens e limitações, onde se destaca como principais vantagens a fácil execução e interpretação de seus resultados; não há limitações para o tamanho das peças a ensaiar; pode revelar discontinuidades (trincas) extremamente finas (da ordem de 0,001 mm de abertura). Entre as suas maiores limitações é o fato de detectar apenas discontinuidades superficiais; a superfície não pode ser porosa ou

absorvente, já que não haveria possibilidade de remover totalmente o excesso de penetrante, causando mascaramento do resultado; a aplicação do penetrante deve ser feita numa determinada faixa de temperatura, superfícies muito frias (abaixo de 10°C) ou muito quentes (acima de 52°C) não são recomendáveis ao ensaio. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

6.2 - Ultra-som

Neste tipo de ensaio, um feixe de ultra-som é introduzido no material e as informações são obtidas com base na transmissão deste feixe através do material e na sua reflexão por interfaces e descontinuidades. Um pulso ultra-sônico é gerado e transmitido através de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. Os pulsos ultra-sônicos refletidos por uma descontinuidade, ou pela superfície oposta da peça, são capturados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD ou em tubos de raios catódicos (TRC) do aparelho (Figura 30). (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

O ensaio opera nas ondas mecânicas de frequência elevada (acima da capacidade da audição humana), usualmente na faixa de 25 kHz a 40 MHz. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Para a inspeção de peças metálicas, este ensaio apresenta um grande poder de penetração (até cerca de 6m), uma elevada sensibilidade e a capacidade de localizar descontinuidades com precisão.

Por conta de suas características, é um ensaio muito adequado para a detecção de descontinuidades planares (como trincas). O revés disso é que a interpretação dos resultados deste ensaio é relativamente difícil e a detecção de descontinuidades localizadas próximas da superfície pode ser problemática. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

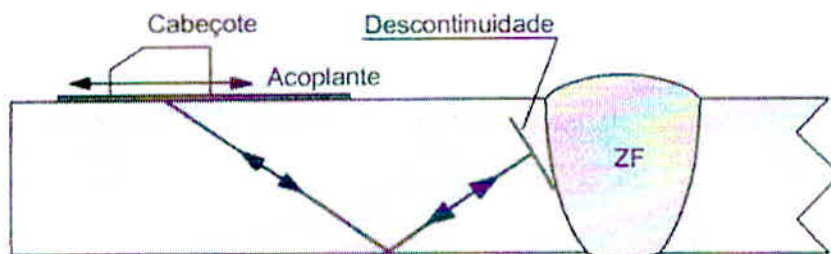


Figura 30 – Esquema de uma inspeção ultra-sônica.
Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

Se compararmos com outros métodos de ensaios, o ultra-som possui diversas vantagens, dentre elas destacamos a alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades além de não requerer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação; para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção.

Porem, como todo processo, apresenta também limitações, a principal delas é a necessidade de possuir um grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor; o registro permanente do ensaio não é facilmente obtido; requer ainda o preparo da superfície para sua aplicação. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

6.3 - Inspeção visual -

Esse é o método mais simples, o mais utilizado e, em geral, precede qualquer outro tipo de ensaio. (AWS, *Welding Handbook*, 2007). É um ensaio muito utilizado na verificação de superfícies externas para a determinação de tamanho, forma, acabamento, ajuste e existência de trincas, poros, etc. Pode ser realizada a olho nu ou com o uso de instrumentos como microscópios, lupas, tuboscópios, espelhos e câmaras de televisão. Além disso, instrumentos como réguas, trenas, paquímetros e gabaritos são largamente utilizados. Pode ser utilizado em solda de filete, sendo usado um gabarito para determinar a dimensão da solda (Figura 31)

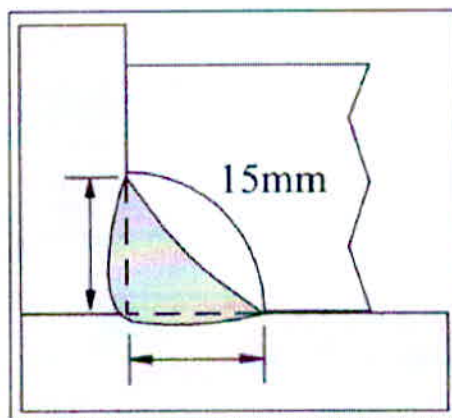


Figura 31 – Esquema de gabarito para a determinação da dimensão de soldas de filete.

Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

6.4 - Partícula magnética -

“Este ensaio é usado para revelar discontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos pela aplicação de um campo magnético e deposição de um pó capaz de ser atraído para as regiões em que este campo magnético escapar do interior da peça. Este método está baseado na geração de um campo magnético que percorre toda superfície do material ferromagnético.” (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

É realizado pelas seguintes etapas: a aplicação do campo magnético; a aplicação das partículas magnéticas; a aglomeração das partículas na descontinuidade (campo de fuga) e por fim a identificação da descontinuidade.

Não existe um tamanho mínimo da descontinuidade para que ocorra o campo de fuga, o que faz com que o método de ensaio por partículas magnéticas seja o mais eficiente dos métodos superficiais, até mesmo que o ensaio por líquido penetrante, para materiais ferromagnéticos. Este ensaio possibilita a detecção de defeitos tais como: trincas, junta fria, inclusões, dupla laminação, falta de penetração, dentre outros.

A Figura 32 ilustra como é realizada a inspeção com partículas magnéticas.

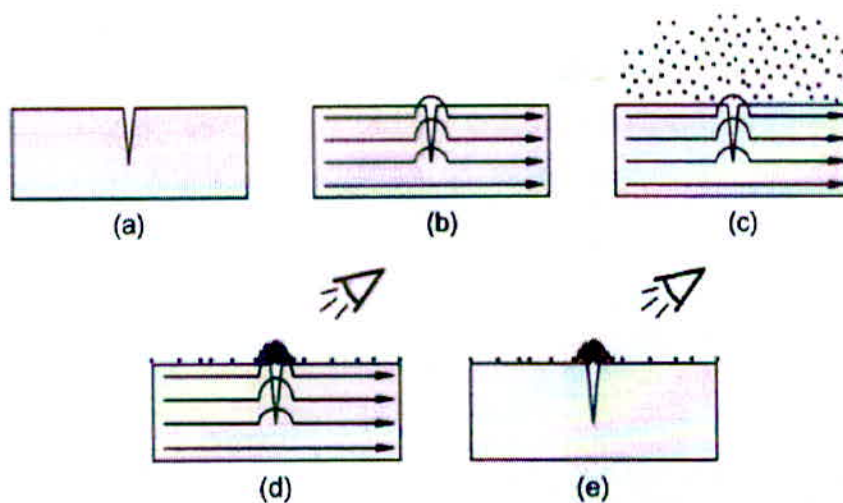


Figura 32 – Esquema da inspeção com partículas magnéticas: (a) peça com trinca superficial ou sub-superficial, (b) aplicação do campo magnético, (c) aplicação das partículas, (d) formação da indicação e inspeção com campo magnético e (e) sem o campo.

Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

6.5 - Radiografia e Gamagrafia (raios X e gama)

Este método é largamente utilizado para detectar a presença de discontinuidades internas e externas em metais ferrosos e não ferrosos e em materiais não metálicos, e permite a obtenção de um registro permanente do resultado do ensaio, é baseado em variações da absorção de radiação eletromagnética penetrante (raios X e gama) devidas a alterações de densidade, composição e espessura da peça sob inspeção. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Este processo é um dos mais caros e lentos, onde pode apresentar a necessidade de peças de maior espessura, tempos de exposição de muitos minutos ou, mesmo, horas.

Para que possa ser realizado com eficiência este ensaio exige o acesso aos dois lados da peça. Como o método é baseado em diferenças de exposição, defeitos planares como trinca, cuja orientação não seja paralela à direção de propagação da radiação, são de difícil detecção por este ensaio. O resultado do ensaio é, em geral, registrado em filme ou ainda em telas fluorescentes. Este resultado é interpretado em termos das diferenças de exposição do filme devido às diferenças de espessura, densidade ou composição da peça associadas com suas discontinuidades e variações dimensionais. (Figura 33)

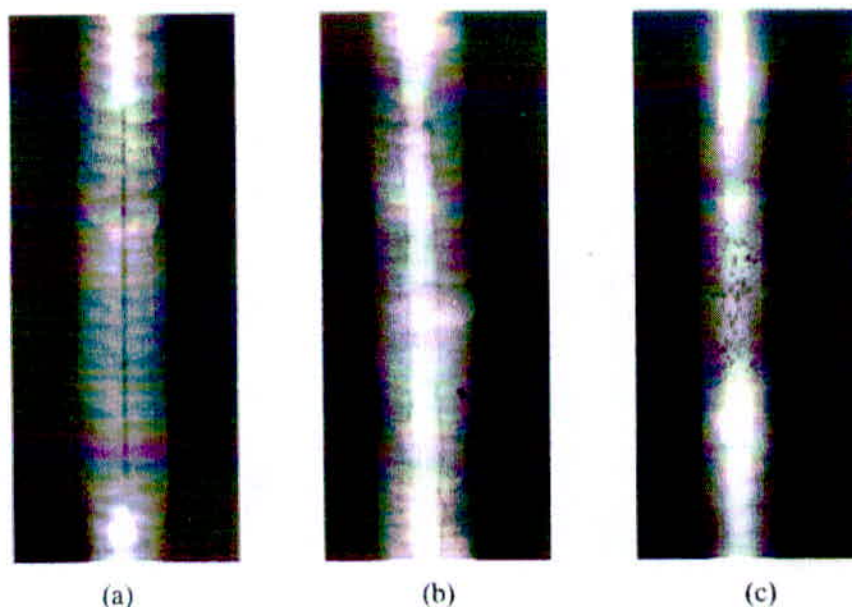


Figura 33 – Exemplos de discontinuidades perceptíveis radiografia, (a) Falta de penetração, (b) inclusão de escória e (c) porosidade agrupada.
Fonte: AWS, *Welding Handbook* (2007).

7 - CUIDADOS E SEGURANÇA RELACIONADOS À SOLDAGEM

Como defende Stinchcomb (1989), o conhecimento de procedimentos de segurança e noção sobre todos os perigos na soldagem, corte e ainda operações são de vital importância, pois os riscos envolvidos nestas atividades são numerosos e capazes de provocar danos sérios a saúde do operador e também a danificar equipamentos e instalações.

Portanto, deve-se ter conhecimento dos principais riscos das operações de soldagem e afins e as práticas usuais para se evitar ou minimizar a ocorrência de acidentes. Além dessas práticas para garantir a segurança, as recomendações e instruções dos fabricantes de equipamentos e produtos devem ser rigorosamente observadas.

Deve-se observar ainda os planos de segurança da empresa, que deve incluir a seleção das áreas para operações de soldagem e corte, exigência de compra de equipamentos de soldagem e segurança devidamente aprovados, estabelecimento e fiscalização de cumprimento de normas de segurança internas, execução de programas de treinamento no uso do equipamento de trabalho e de segurança e procedimentos em caso de emergências ou acidentes, utilização de sinais de advertência para os perigos de cada área específica e principalmente a inspeção e manutenção periódicas dos equipamentos e instalações devem ser estabelecidos claramente. Stinchcomb (1989)

Os principais riscos das operações de soldagem e afins são incêndios e explosões, queimaduras, choque elétrico, inalação de gases e fumos nocivos e radiação.

Para que se inicie um incêndio é necessário uma fonte de calor, um combustível e oxigênio. Sabemos que as fontes de calor podem ser inúmeras, sendo desde uma chama, o arco elétrico, um curto-circuito nas instalações elétricas ou nos locais de soldagem, etc. Assim, chamas e arcos elétricos de soldagem só devem ser acesos em locais próprios e manuseados com o máximo de atenção e cuidado. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Devemos dar atenção para as instalações elétricas que devem ser mantidas em boas condições de conservação, com inspeções periódicas e dotadas de fusíveis protetores adequados e chaves seccionadoras de circuitos de fácil acesso e operação. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Nos ambientes industriais possuímos inúmeros materiais combustíveis que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Muitas vezes, materiais inflamáveis, não usados como combustível, como tintas, solventes, graxas e óleos, são utilizados nas imediações de áreas de soldagem. Assim, todo o

cuidado deve ser tomado a fim de manter estes materiais em recipientes adequados, tampados e afastados da área onde se realiza a soldagem e corte térmicos. Estopas, panos e papéis embebidos em solventes e outros inflamáveis devem ser retirados da área antes de se iniciar quaisquer destas operações.

Deixa-se bem claro através de aviso e também de treinamentos que a limpeza e organização das áreas de soldagem são fundamentais para a segurança. Na soldagem de manutenção de tanques de combustível vazios, como nos diz Prisco (2007) muitas vezes há formação de vapores explosivos. Antes de se iniciar a soldagem, estes tanques devem ser rigorosamente limpos e/ou lavados e é aconselhável que sejam cheios de água de forma conveniente a não prejudicar a soldagem.

Prisco (2007), alerta que em muitas situações, por conta do descaso e até mesmo da omissão e falta de treinamento, o operador ou qualquer individuo circunvizinho pode sofrer queimaduras provenientes de algum destes processos; estas queimaduras são causadas principalmente por fagulhas e respingos, chama se metal aquecido. Fagulhas e respingos quase sempre estão presentes nas operações de soldagem e corte.

O soldador, durante a operação, não tem visão da área à sua volta. Assim, o acesso de pessoas deve ser restrito nas áreas de soldagem e o uso de biombos é aconselhável para se minimizarem os riscos para terceiros e evitar a projeção de fagulhas e respingos a longas distâncias. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

Levando-se em conta a segurança pessoal, o soldador deve sempre usar vestimenta e todos os equipamentos de proteção individual adequados. Se houver chamas estas devem ser manuseadas com atenção para não serem dirigidas acidentalmente contra terceiros ou objetos. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

7.1 - Precauções Contra Choque Elétrico

Segundo a AWS, *Welding Handbook*(2007), devemos atentar para a possibilidade de choque elétrico, vale a pena lembrar que a gravidade de um choque elétrico está relacionada não à tensão da fonte que provoca, mas sim à intensidade da corrente que passa pela vítima, ao caminho dela no corpo do acidentado e ao tempo de circulação.

As sensações sentidas por uma pessoa normal percorrida por correntes de diferentes intensidades são, segundo a ABNT NBR 5410:

1 mA -	sensação de choque - não envolve qualquer perigo;
5 mA -	músculos violentamente estimulados - sensação de dor;
10 mA -	dor insuportável;
20 mA -	contração violenta dos músculos;
60 mA -	respiração difícil;
80 mA -	parada respiratória;
100 mA -	queimaduras severas e parada cardíaca.

As precauções que devem ser tomadas para se evitar o choque elétrico são: aterramento correto de todo equipamento elétrico, trabalhar em ambientes secos, manter as conexões elétricas limpas e bem ajustadas, usar cabos de dimensões corretas, evitar trabalhar em circuitos energizados, usar roupas e calçados secos. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

7.2 - Precauções Contra Fumos e Vapores

As operações de soldagem geram também gases e fumos em forma de vapores e fumaças que podem ser prejudiciais à saúde de diversos modos. Por exemplo, vapores de zinco podem causar dor de cabeça intensa e febre, enquanto vapores de cádmio podem ser fatais. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

O argônio, que é um dos gases mais utilizados na proteção da solda em alguns processos, não é tóxico, mas como é mais pesado que o ar, pode causar asfixia e morte, se for usado em ambientes fechados. Assim, as operações de soldagem e corte devem ser efetuadas em locais bem ventilados e, se necessário, podem ser usados ventiladores e exaustores. Como forma de proteção individual, o soldador pode usar uma máscara contra gases. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

7.3 - Precauções Contra Radiação

Outro agravante necessário de precaução é a radiação eletromagnética, os metais aquecidos e, particularmente, o arco elétrico de soldagem emitem radiação eletromagnética. Esta radiação pode ser emitida na região do infravermelho, do ultravioleta e da luz visível.

A radiação infravermelha pode causar queimaduras, dor de cabeça e lesão nos olhos (inflamações nas pálpebras, na córnea, catarata). A radiação visível, quando em alta intensidade, pode causar ofuscamento e cansaço visual e a radiação ultravioleta pode causar queimaduras severas e até tumores na pele, além de lesões nos olhos (conjuntivite, danos à córnea e cegueira). (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

A proteção contra a radiação deve evitar a exposição, tanto à radiação direta quanto à indireta, do soldador e de terceiros. Individualmente o soldador deve se proteger com o uso de roupas opacas e máscaras com filtros de luz adequados. A proteção de terceiros pode ser proporcionada pelo uso de biombos e cortinas não refletoras. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

7.4 - Precauções Contra Riscos Diversos

Outros riscos muito comuns em áreas de soldagem e operações são a queda de objetos e ferramentas, a queda de pessoal trabalhando em andaimes e plataformas ou locais elevados e movimentações de cargas no nível do solo ou elevadas. Dessa forma capacetes de segurança devem ser sempre usados além de ser obrigatório o uso de cintos de segurança para quem trabalha em locais elevados. (AWS, *Welding Handbook*, 2007).

8 – CONCLUSÃO

Com o presente estudo realizado nos processos de união de materiais, a soldagem, é possível analisar a cada projeto ou ocasião, qual o tipo de processo utilizar, referenciando-se na funcionalidade de cada processo, suas vantagens e limitações, custos, produtividade, necessidade suportar maiores esforços físicos ou até mesmo em situações onde a necessidade de recuperação e peças ou equipamentos desgastados.

Dentre as inúmeras definições para a soldagem. Estes vão de um simples processo de junção de metais por fusão a um processo de união de materiais baseado no estabelecimento de uma força de ligação química com uma forma natural parecida com as mesmas interações físicas atuantes nos átomos dos próprios materiais. Porém o mais importante de um estudo como este é o fato de podermos através dele ter a percepção de que toda a tecnologia da soldagem ser apenas uma operação que visa obter a união de duas ou mais peças, fazendo dessa forma, que a junta soldada, apresente toda a continuidade e propriedades físicas, químicas e metalúrgicas. Não podemos esquecer a definição da AWS (American Welding Society – AWS) onde afirmam categoricamente que: “Soldagem é o processo de união de materiais que visa obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão e/ou de metal de adição”.

Podemos concluir que os diversos processos de soldagem são utilizados em larga escala em todos os segmentos das indústrias que vão desde as etapas de fabricação até ao conserto e manutenção de equipamentos e peças.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY, **Welding Handbook**, 27a edição, vol. 1, AWS, Miami, 2007.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 5410, 2010**

MACHADO, Ivan Guerra, **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos, Laboratório de Soldagem & Técnicas Conexas (LS&TC)**, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 1996.

MARQUES, Paulo Villani., **Tecnologia da Soldagem**, Fundação Christiano Ottoni – FCO, Belo Horizonte – MG, 2002.

MODENESI, Paulo José. e MARQUES, Paulo Villani, **Soldagem I - Introdução aos Processos de Soldagem**, Apostila, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Belo Horizonte, Janeiro, 2005.

PARANHOS, Ronaldo e SOUZA, A.C., **Soldagem a Arco Submerso**, Coleção Soldagem 2000, Volume 2, FIRJAN/SENAI, Rio de Janeiro, 1999.

PRISCO, M., **Soldagem de Manutenção, Programa de Cursos Modulares em Tecnologia da Soldagem**, Módulo Manutenção, ABS – Associação Brasileira de Soldagem e ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, 2007

STINCHCOMB, C., **Welding Technology Today – Principles and Practices**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.

SVENSSON, L.E., **Control of Microstructures and properties in Steel Arc Welds**, CRC Press, 1994.

WAINER, E., BRANDI, S.D. et. al, **Soldagem - Processos e Metalurgia**, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, Brasil, 1992.