



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE MANAUS – CEULM
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RICARDO ALMEIDA SANCHES

DEFEITOS EM SOLDA DETECTÁVEIS ATRAVÉS DE INSPEÇÃO VISUAL

Manaus

2010

RICARDO ALMEIDA SANCHES

DEFEITOS EM SOLDA DETECTÁVEIS ATRAVÉS DE INSPEÇÃO VISUAL

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA, para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc. Ronaldo Luis Angulski

Manaus, 2010

RICARDO ALMEIDA SANCHES

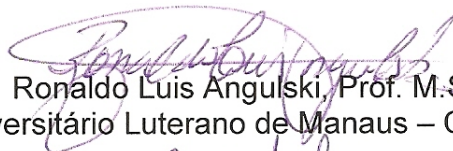
DEFEITOS EM SOLDA DETECTÁVEIS ATRAVÉS DE INSPEÇÃO VISUAL

Monografia submetida à avaliação da Banca Examinadora para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil no Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA.

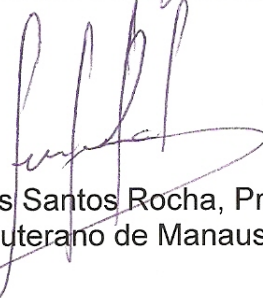
Área de Concentração: Patologia

Data de aprovação: 26 / 06 / 2010

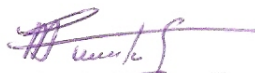
Banca Examinadora:



Ronaldo Luis Angulski, Prof. M.Sc.
(Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA)



Francisco dos Santos Rocha, Prof. Dr. Sc.
(Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA)



Fernando de Farias Fernandes Prof. M.Sc.
(Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus adoráveis pais, Ismael e Aparecida, às minhas irmãs, Luciana e Sandra, e à minha companheira Claudia, pelo incentivo e dedicação para o alcance desse objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conduzir nessa caminhada com sabedoria e alcançar todos os meus objetivos;

Agradeço aos meus pais, que me apoiaram nessa trajetória e pela oportunidade de estar realizando esse momento único em minha vida, e a todas as minhas irmãs que acreditaram em meu potencial;

Agradeço aos meus professores, que compartilharam comigo seus conhecimentos e aos amigos.

RESUMO

As discontinuidades em cordões de solda, por mais que se tenha os devidos cuidados e que se siga todos os procedimentos e especificações, ocorrem durante a execução do cordão. Admitindo-se a possibilidade do aparecimento das discontinuidades, se faz necessário identificá-las, entender qual o motivo do seu aparecimento, como tomar medidas preventivas e corretivas mediante o seu aparecimento e por fim como evitar as ocorrências. Porém, antes, é importante conhecer os materiais empregados, equipamentos utilizados e técnicas de execução. Também se faz necessário conhecer mesmo que superficialmente, os processos de soldagens mais comuns empregados na indústria. Através do conhecimento de algumas características de cada processo de soldagem, pode-se definir qual será a mais adequada para cada tipo de atividade, material ou ambiente. Por fim, pode-se verificar as discontinuidades mais comuns encontradas no dia-a-dia profissional. De forma simples e objetiva, entender-se-á o porquê daquela ocorrência, quais suas conseqüências e principalmente como evitá-las.

Palavras-chave: solda, defeitos em solda, discontinuidades

ABSTRACT

The discontinuities in weld seams, for even though they are all due care and who will follow all procedures and specifications, occur during the execution of the cord. Admitting the possibility of the appearance of discontinuities, we must identify them, understand the reason of their appearance, how to take preventive and corrective measures by their appearance and ultimately how to prevent such occurrences. But before, it is necessary to know the materials used, equipment used and technical execution. It is also necessary to know even superficially, the most common welding processes used in industry. Through the knowledge of some characteristics of each welding process, one can define what will be most appropriate for each type of activity, material or environment. Finally, you can check the most common discontinuities found in day-to-day work. From a simple and objective, understand why that will occur, what its consequences and especially how to avoid them.

Keywords: welding, defects in welding, discontinuities

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Terminologias usuais de soldagem.....	18
Figura 2 - Terminologia básica de soldagem.....	19
Figura 3 - Soldagem com eletrodo revestido.....	20
Figura 4 - Corrente alternada	21
Figura 5 – Polaridade da corrente	21
Figura 6 – Corrente contínua.....	22
Figura 7 – Arco elétrico	22
Figura 8 – Condutor de elétrons.....	23
Figura 9 – Sentido da corrente eletrodo / peça 1	23
Figura 10 – Sentido da corrente eletrodo / peça 2	24
Figura 11 – Sentido da corrente - peça / eletrodo	24
Figura 12 – Cabo elétrico	25
Figura 13 – Resistência elétrica	25
Figura 14 – Comprimento do arco.....	26
Figura 15 – Eletrodo.....	27
Figura 16 – Soldagem a arco submerso.	31
Figura 17 – Soldagem TIG	34
Figura 18 – Soldagem MIG e MAG	35
Figura 19 – Soldagem a arco com arame tubular	37
Figura 20 – Distorções	43

Figura 21 – Juntas incorretas	43
Figura 22 – Verificação em campo de juntas incorretas.....	44
Figura 23 – Dimensões das juntas	44
Figura 24 – Falta de penetração	45
Figura 25 – Falta de fusão em parte do cordão de solda	46
Figura 26 – Falta de penetração em parte do cordão de solda	46
Figura 27 – Falta de Fusão em parte do cordão de solda.....	47
Figura 28 – Excesso de respingos	47
Figura 29 – Respingo excessivo	49
Figura 30 – Respingo excessivo	49
Figura 31 – Respingo excessivo	50
Figura 32 – Mordedura.....	50
Figura 33 – Mordeduras no cordão de solda.....	52
Figura 34 – Trincas	52
Figura 35 – Trincas propagadas.....	54
Figura 36 – Trincas propagadas devido ao trabalho da peça	54
Figura 37 – Inclusão de Escória	55
Figura 38 – Inclusão de Escória	56
Figura 39 – Inclusão de Escória	56
Figura 40 – Porosidade	57
Figura 41 – Porosidade em junta soldada.....	58
Figura 42 – Porosidade em junta soldada.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CEULM – Centro Universitário Luterano de Manaus.

NB – Norma Brasileira.

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora.

MAG – “METAL ACTIVE GAS”; processo de soldagem com eletrodo consumível e gás atuante no processo metalúrgico, além da criação do ambiente inerte.

MIG – “ METAL INERT GÁS” processo de soldagem com eletrodo consumível e gás não atuante no processo metalúrgico, além da criação do ambiente inerte.

SAW – “SUBMERGED ARC WELDING” – Processo de soldagem de eletrodo consumível e com poça de fusão imensa em fluxo.

1G – Normalização pela AWS da posição plana de soldagem.

AWS – AMERICAM WELDING SOCIETE , Sociedade Americana de soldagem.

SMAW - Processo de Soldagem com Eletrodo Revestido

TIG – “ TUNGSTEN INERT GÁS “ processo de soldagem a arco elétrico entre um eletrodo não consumível de tungstênio

CC – Corrente Contínua

CA – Corrente Alternada

C - Carbono

Si - Silício

MN – Manganês

MPa - Mega Pascal

LISTA DE TABELAS

Quadro 1- Histórico da Soldagem	17
Quadro 2 - Simbologia segunda AWS.....	28
Quadro 3 – Eletrodos com baixo teor de carbono	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM	16
2.2 BREVE HISTORIO SOBRE SOLDAGEM.....	17
2.3 TERMINOLOGIAS USUAIS EM SOLDAGEM	17
2.4 TERMINOLOGIA BÁSICA DO CORDÃO DE SOLDA	18
2.5 PROCESSOS DE SOLDAGEM	19
2.5.1 Soldagem com eletrodo revestido (SMAW).....	19
2.5.1.1 Noções de corrente elétrica aplicada na soldagem;	21
2.5.1.2 Arco elétrico:	22
2.5.1.3 Efeito da tensão (volts) na soldagem	22
2.5.1.4 Intensidade da corrente (ampéres):.....	23
2.5.1.5 Sentido de circulação da corrente:	23
2.5.1.6 Polaridade	24
2.5.1.7 Material condutor:	24
2.5.1.8 Material isolante:	25
2.5.1.9 Resistência elétrica:.....	25
2.5.1.10 Formação do arco elétrico:.....	26

2.5.1.11 Consumíveis para soldagem:	26
2.5.2 Soldagem a arco submerso (SAW)	30
2.5.2.1 Equipamentos utilizados	32
2.5.3 Soldagem TIG.....	33
2.5.4 Soldagem MIG e MAG	35
2.5.5 Soldagem a arco com arame tubular	36
2.6 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES	39
2.6.1 Ensaio visual	39
2.6.2 Teste de estanqueidade	39
2.6.3 Líquido penetrante	39
2.6.4 Partícula magnética	40
2.6.5 Ultra-som.....	40
2.6.6 Ensaio radiográfico	40
3 DESCONTINUIDADE	42
3.1 DESCONTINUIDADES DIMENSIONAIS	42
3.1.1 Distorção	42
3.1.2 Preparação incorreta da junta.....	43
3.1.3 Dimensão incorreta da solda (perfil do cordão)	44
3.2 DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS	44
3.2.1 Falta de fusão ou penetra	44
3.2.2 Excesso de respingos.....	47
3.2.3 Mordeduras.....	50
3.2.4 Trincas	52
3.2.5 Inclusão de escória	54
3.2.6 Porosidade.....	56
3.3 PROPRIEDADES INADEQUADAS.....	59
4 CONCLUSÃO	60
BIBLIOGRAFIA	61

1 INTRODUÇÃO

Apesar de ainda ser uma opção secundária, quando se trata de construção civil, a utilização de estruturas metálicas evoluiu de forma significativa nos últimos anos, principalmente no que se refere aos métodos de ligação de peças. O método mais empregado atualmente é o de soldagem.

Esse método, apesar de sua grande importância e aplicação, não é de grande domínio dos engenheiros civis, tão pouco dada a sua devida importância.

A soldagem moderna existe desde a década de 20, quando começou a ser mais utilizada em engenharia estrutural, compreendendo edifícios e pontes. Alguns exemplos clássicos são:

- A ponte de 150 m de comprimento em Toronto no Canadá no ano de 1927;
- Também no ano de 1927 o primeiro edifício de grande porte que utilizou processo de soldagem, o Edifício Sharon nos EUA;
- A ponte Ferroviária Turtle Creek, na Pensilvânia – EUA também em 1927;

No ano de 1930 são feitas nos EUA as primeiras normas de especificações de eletrodos revestidos. Já em 1935 foram desenvolvidos os processos de soldagem a arco submerso e o processo TIG (Tungsten Inert Gás).

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Designa-se como defeitos ou descontinuidade a qualquer interrupção da estrutura típica de uma junta soldada. Neste sentido, pode-se considerar como descontinuidade, a falta de homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda. A existência de descontinuidades em uma junta, não significa necessariamente que a mesma seja defeituosa. Esta condição depende de aplicação a que se destina o componente e é em geral caracterizado pela comparação das descontinuidades observadas ou propriedade medida com níveis estabelecidos em um código, projeto ou contato pertinente. Assim, considera-se uma junta soldada que contém defeitos quando esta apresenta descontinuidades ou propriedades que não atendam ao exigido pelas normas vigentes. Juntas defeituosas em geral, precisam ser reparadas ou mesmo substituídas (Modenesi, 2001).

O grande problema normalmente enfrentado deve-se ao fato do aparecimento inesperado de condições adversas (por ex.: erro de procedimento durante a operação de soldagem, aparentemente sem influencia, gerando descontinuidades como concentradoras de tensões) que culminam na redução da vida útil do componente além da possibilidade de falhas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Por se tratar de uma técnica largamente empregada em todo mundo, e abrangente a todas as áreas da engenharia, é de grande importância para um engenheiro de qualquer área ter conhecimentos mínimos sobre o tema.

Especificamente dentro da engenharia civil, praticamente tudo que utiliza aço, a técnica de soldagem se faz presente, na execução de uma cobertura, de um mezanino, de um edifício onde predomina estruturas metálicas, em galpões, tubovias, etc. Em muitos desses empreendimentos, principalmente os de grande porte, o controle de soldagem se dá através de ensaios realizados por profissionais especializados. Porém em pequenas obras ou intervenções onde se faz necessário a utilização do processo de soldagem e não comporta a contratação de um profissional especializado no controle do processo de soldagem, cabe ao engenheiro residente zelar pela qualidade no processo.

Um recurso simples, eficiente e de baixo custo neste caso, se trata da inspeção visual de solda. Através dela o engenheiro poderá detectar falhas aparentes. Tendo o engenheiro o conhecimento sobre o tipos mais freqüentes de falhar, ele poderá identificar as causas, e conseqüentemente corrigir a falha no processo de soldagem para o restante do trabalho se desenvolva de forma satisfatória.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo é a apresentar as principais discontinuidades presentes nos processos de soldagem mais utilizados pela industria da construção civil no país.

1.3.2 Objetivos específicos

- Apresentar um panorama geral sobre o processo de soldagem, expondo seu histórico e conceitos;
- Explanar a respeito dos principais processos de soldagem empregados na indústria da construção civil;
- Apresentar de forma sucinta os tipos de ensaios utilizados para detecção de defeitos nos cordões de solda;
- Verificar em campo, os defeitos mais comuns ocorridos durante o processo de soldagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

A soldagem é um processo que visa a união localizada de materiais, similares ou não, de forma permanente, baseada na ação de forças em escala atômica semelhantes às existentes no interior do material e é a forma mais importante de união permanente de peças usadas industrialmente. Existem basicamente dois grandes grupos de processos de soldagem. O primeiro se baseia no uso de calor, aquecimento e fusão parcial das partes a serem unidas, e é denominado processo de soldagem por fusão.

O segundo se baseia na deformação localizada das partes a serem unidas, que pode ser auxiliada pelo aquecimento dessas até uma temperatura inferior à temperatura de fusão, conhecido como processo de soldagem por pressão ou processo de soldagem no estado sólido. (AWS American Welding Society, Rules for welding in structural steel / 1992)

2.2 BREVE HISTORIO SOBRE SOLDAGEM

Quadro 1- Histórico da Soldagem

Pré historia – idade media	Soldagem por forjamento Importância estratégica
1809	Arco elétrico
1885	1º Patente Inglesa
1890	Eletrodo Nu
1907	Eletrodo Revestido
1926	Processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gás)
1948	MIG (Metal Active Gás)
1953	MAG (Metal Inert Gás)
1954	ARAME TUBULAR
1957	PLASMA
1960	LASER
Atualmente são mais de 50 processos usados industrialmente	

Fonte: Cetre do Brasil

2.3 TERMINOLOGIAS USUAIS EM SOLDAGEM

A soldagem possui um conjunto de termos muito próprios (figura 1), contudo, que existem variações destes nas diferentes regiões do Brasil e, possivelmente, entre empresas vizinhas.

Soldagem (Welding): É o processo de união de materiais onde são preservadas as características físicas e químicas da junta soldada.

Solda (Weld): É o resultado deste processo.

Arco Elétrico: É a passagem de corrente elétrica através de uma atmosfera ionizada.

Fusão: Processo de mudança de estado físico.

Poça de Fusão: Região em fusão, a cada instante, durante uma soldagem.

Metal de Base: Material da peça que sofre processo de soldagem.

Metal de Adição: Material adicionado no estado líquido durante uma soldagem.

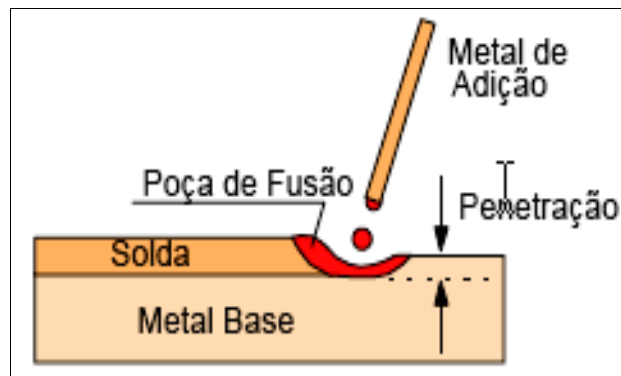


Figura 1 - Terminologias usuais de soldagem
fonte: Prof. Wendel Fernandes da Rocha

2.4 TERMINOLOGIA BÁSICA DO CORDÃO DE SOLDA

Execução de uma solda de vários passes (figura 2).

Raiz Passe: Região mais profunda de uma junta soldada que corresponde ao 1º passe, região mais propensa a descontinuidades na soldagem.

Face: Superfície oposta a raiz da solda.

Camada: Conjuntos de passes realizados em uma mesma altura em um chanfro.

Reforço: Altura máxima alcançada pelo excesso de metal de adição medido a partir da superfície do metal a ser soldado.

Margem: Linha de encontro entre a face da solda e a superfície do metal de base

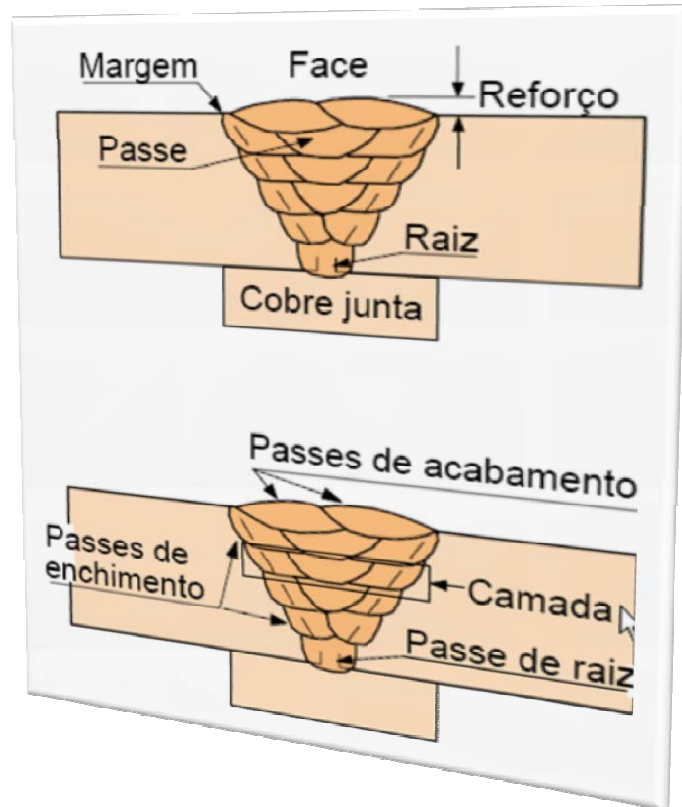


Figura 2 - Terminologia básica de soldagem
 fonte: Prof. Wendel Fernandes da Rocha

2.5 PROCESSOS DE SOLDAGEM

Para se diagnosticar os problemas que geralmente ocorrem durante o processo de soldagem, é necessário conhecer os princípios básicos de execução e equipamentos utilizados

2.5.1 Soldagem com eletrodo revestido (SMAW)

Soldagem com eletrodo revestido é a união de metais pelo aquecimento oriundo de um arco elétrico entre um eletrodo revestido e o metal de base na junta a ser soldada.

O metal fundido do eletrodo é transferido através do arco elétrico até a poça de fusão na junta a ser soldada, formando assim o cordão de solda.

Durante a soldagem é formada uma escória proveniente da queima do revestimento do eletrodo e das impurezas do metal de base, flutuando para a base

da superfície da poça de fusão conforme ilustrado na figura 3, protegendo o metal de solda da contaminação atmosférica, e também controlando a taxa de resfriamento. O metal de adição vem da alma metálica do eletrodo e do revestimento.

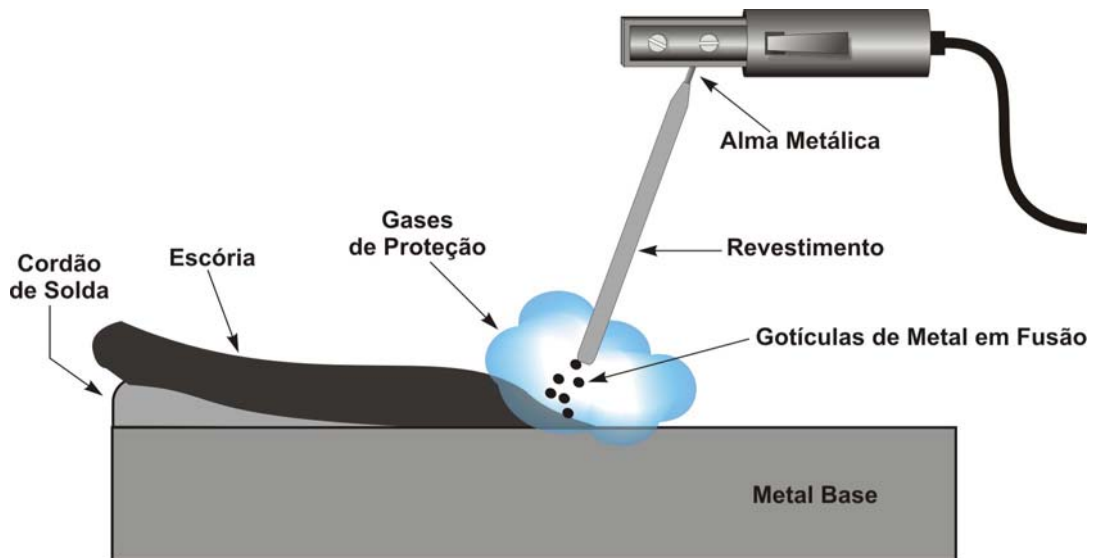


Figura 3 - Soldagem com eletrodo revestido
Fonte: SENAC

O calor necessário para a fusão do eletrodo e do metal de base é originado pela passagem de corrente elétrica do eletrodo para a peça. O intenso calor gerado concentra-se na ponta do eletrodo que é fundido com o metal de base, formando a poça de fusão, que após resfriada forma a solda.

O revestimento do eletrodo é o responsável pela formação de gases de proteção e a adição de elementos de liga, que refina o metal de solda, além de parte deste ainda fundido flutuar sobre a poça, absorvendo impurezas e isolando o cordão da presença da atmosfera e outros gases.

A soldagem com eletrodo revestido é o processo de soldagem mais usado entre todos devido a simplicidade do equipamento, resistência e qualidade das soldas com baixo custo. Este processo tem grande flexibilidade e solda a maioria dos metais, numa grande faixa de espessuras. A soldagem com este processo pode ser feita em quase todos os lugares e em condições adversas.

Este processo é usado extensivamente na indústria, tais como: manutenção, fabricação de navios, automóveis, caminhões, locomotivas, comportas de hidrelétricas e outros conjuntos soldados.

2.5.1.1. Noções de corrente elétrica aplicada na soldagem;

Chama-se de corrente elétrica o movimento ordenado de elétrons através de um corpo.

Existem dois tipos, corrente alternada e corrente contínua:

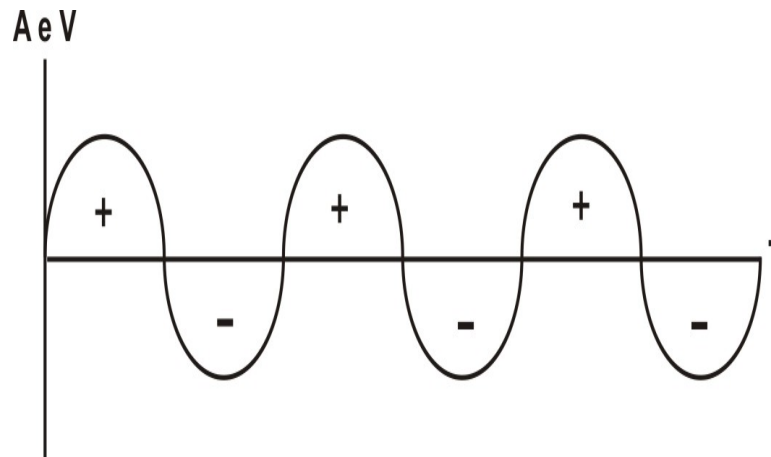


Figura 4 - Corrente alternada

Fonte: SENAC

A corrente alternada é aquela que não tem definição de polaridade (+) ou (-) (figura 4). Em um intervalo de um segundo a polaridade muda 120 vezes (60 ciclos), isto é, em um segundo os elétrons passam pelo positivo 60 vezes e 60 vezes pelo negativo (figura 5).

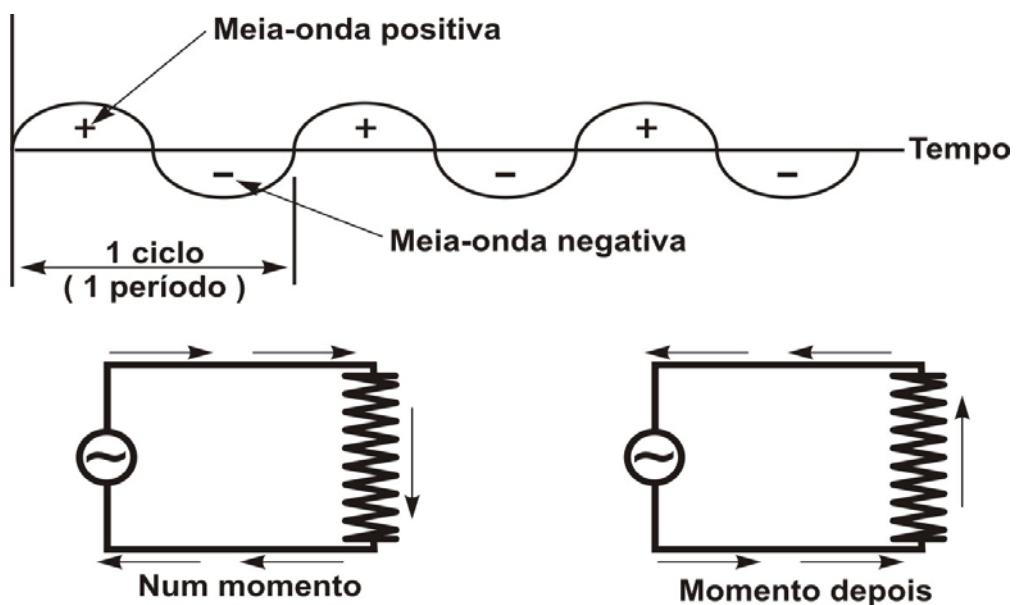


Figura 5 – Polaridade da corrente

Fonte: SENAC

Corrente Contínua:

Conforme mostra a figura 6, a corrente contínua é aquela que circula sempre no mesmo sentido, do negativo (-) para o positivo (+). Tem a definição de polaridade.

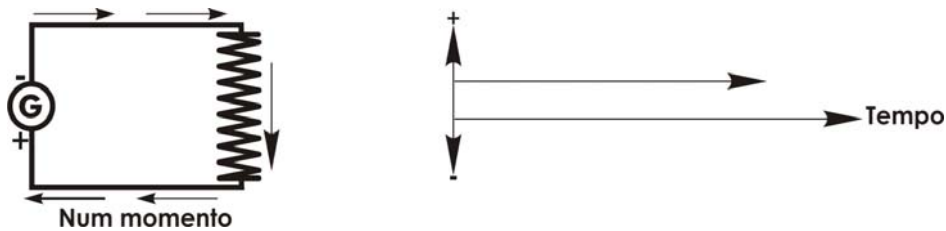


Figura 6 – Corrente contínua

Fonte: SENAC

2.5.1.2. Arco elétrico:

A corrente elétrica seja ela alternada ou contínua pode ter sua tensão (v) medida. O aparelho que mede a tensão é o voltímetro.

2.5.1.3. Efeito da tensão (volts) na soldagem

A tensão faz com que a corrente elétrica prossiga circulando, mesmo depois que o eletrodo é afastado da peça, porém não ultrapassando o limite que venha fechar o circuito elétrico e conseqüentemente extinguir o arco elétrico.

A figura 7 apresenta o comportamento de um arco elétrico que produz alta temperatura, fundindo o eletrodo à peça, formando a solda.

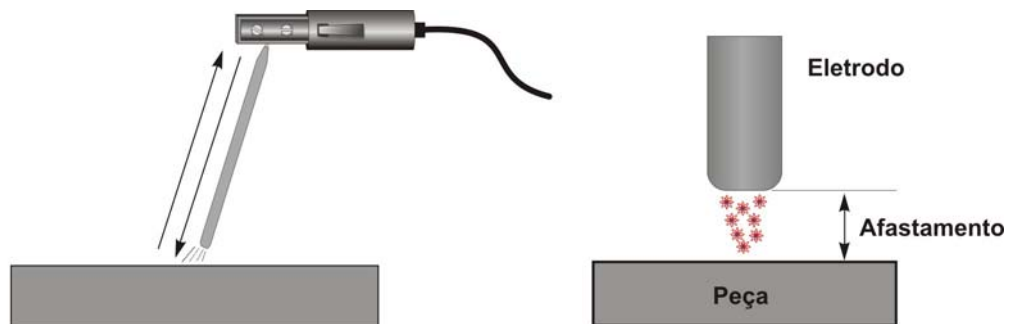


Figura 7 – Arco elétrico

Fonte: SENAC

2.5.1.4. Intensidade da corrente (ampères):

É a quantidade de elétrons que passa em um instante por uma seção do condutor conforme apresenta a figura 8.

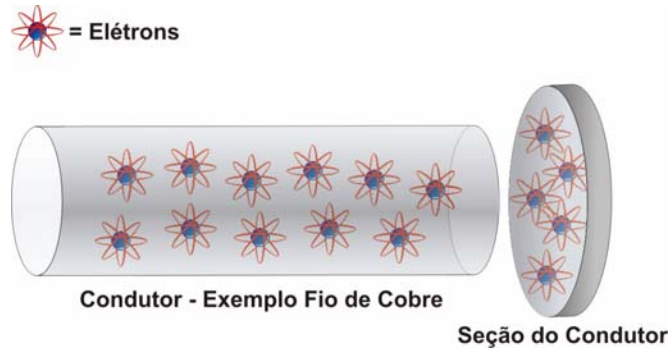


Figura 8 – Condutor de elétrons

Fonte: SENAC

A corrente elétrica, seja ela alternada ou contínua, pode ter sua intensidade medida. O aparelho que mede a intensidade da corrente (A) é o amperímetro.

2.5.1.5. Sentido de circulação da corrente:

A figura abaixo apresenta o sentido real de circulação da corrente elétrica é do pólo negativo (-) para o positivo (+).

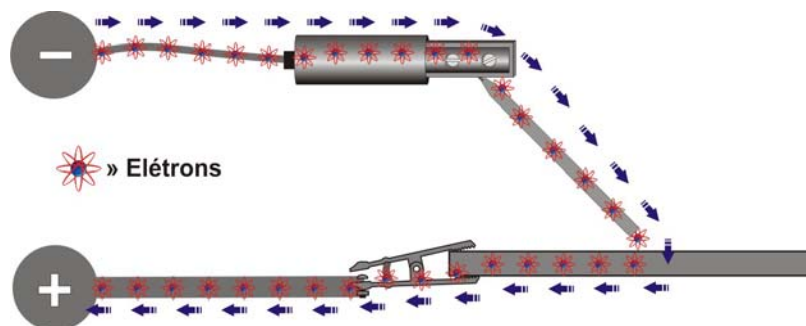


Figura 9 – Sentido da corrente eletrodo / peça 1

Fonte: SENAC

2.5.1.6. Polaridade

Refere-se a ligação dos cabos positivo (+) e negativo (-) da máquina, influenciando na penetração do cordão de solda.

Dependendo do tipo de eletrodo, a ligação dos cabos obra e porta eletrodo são conectadas pela Polaridade Direta ou pela Polaridade Inversa.

a) Polaridade Direta:

O cabo da porta eletrodo é conectado no terminal negativo (-) da máquina, e o cabo obra no terminal (+) da máquina conforme esquema apresentado na figura que segue

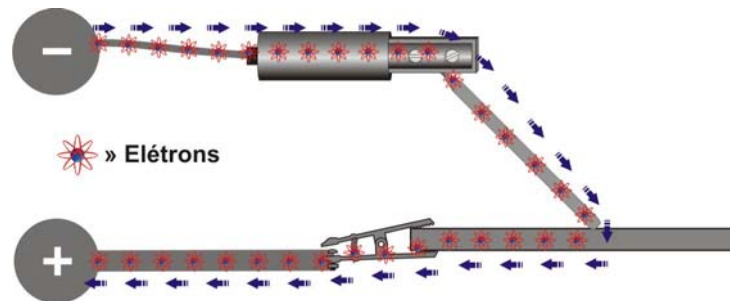


Figura 10 – Sentido da corrente eletrodo / peça 2
Fonte: SENAC

b) Polaridade Inversa:

O cabo do porta eletrodo é conectado no terminal positivo (+) da máquina, e o cabo obra no terminal negativo (-) da máquina conforme esquema apresentado na figura 11

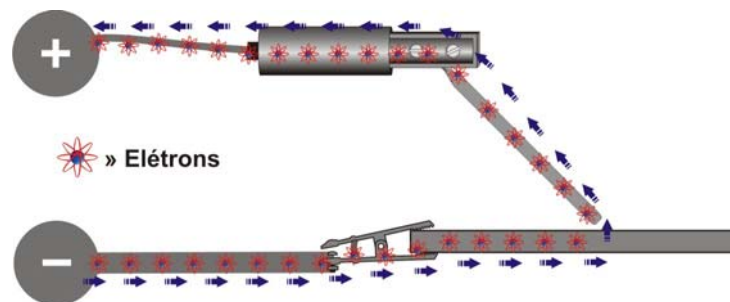


Figura 11 – Sentido da corrente - peça / eletrodo
Fonte: SENAC

2.5.1.7. Material condutor:

São corpos que permitem a passagem da corrente elétrica com relativa facilidade.

Os mais conhecidos são: cobre, alumínio, bronze, aço inoxidável, aço carbono etc.

2.5.1.8. Material isolante:

São corpos que dentro de uma determinada faixa de tensão, não permitem a passagem da corrente elétrica. Os materiais isolantes mais usados são: Porcelana, mica, celerom, baquelita, borracha, plástico, etc.

A figura 12 apresenta uma seção de um cabo elétrico contador de energia



Figura 12 – Cabo elétrico

Fonte: SENAC

2.5.1.9. Resistência elétrica:

É a dificuldade que um corpo oferece à passagem da corrente elétrica. Este dificulta a passagem da corrente, gera calor, e em alguns casos é desejável e em outros não. Como exemplo de onde ela é desejável, podemos citar as lâmpadas, ferro de passar, tostadeira, chuveiro e arco de soldagem. Este é o mesmo princípio utilizado no processo de soldagem, conforme é apresentada figura abaixo

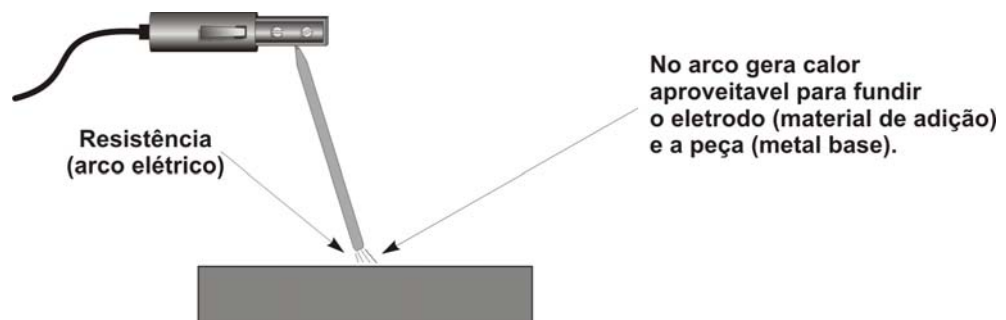


Figura 13 – Resistência elétrica

Fonte: SENAC

2.5.1.10. Formação do arco elétrico:

É a passagem da corrente elétrica de um polo (peça) para outro (eletrodo), desde que seja mantido entre eles um afastamento conveniente.

Esse afastamento é chamado de comprimento do arco (figura 14).

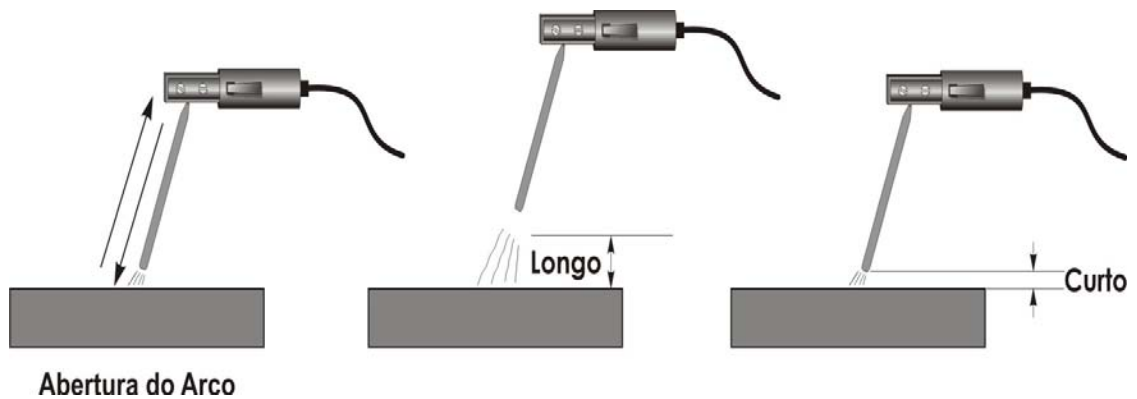


Figura 14 – Comprimento do arco

Fonte: SENAC

Esse afastamento deve corresponder aproximadamente ao diâmetro do eletrodo em uso. (diâmetro da parte metálica, sem contar o revestimento).

2.5.1.11. Consumíveis para soldagem:

A escolha do tipo de consumível é de extrema importância para se realizar soldas garantindo a qualidade do produto final e deve-se levar em consideração o tipo de metal de base a ser soldado o tipo de corrente e intensidade processo de soldagem e demais fatores que podem influenciar a boa pratica de soldagem.

O eletrodo para soldagem pelo processo de soldagem SMAW (figura 15) é constituído de um núcleo metálico e revestimento com elementos químicos além de uma parte não revestida que serve para fixá-lo no alicate porta eletrodo .

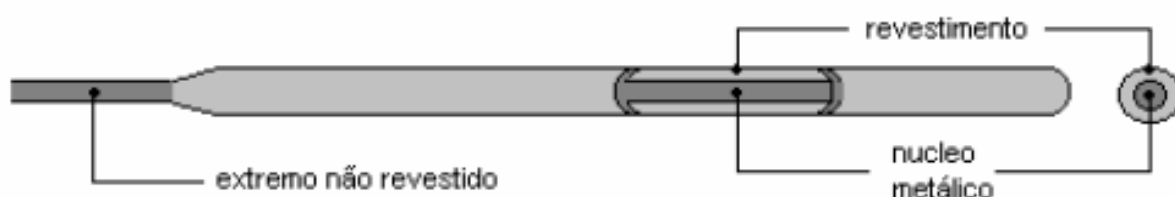


Figura 15 – Eletrodo

Fonte: SENAI

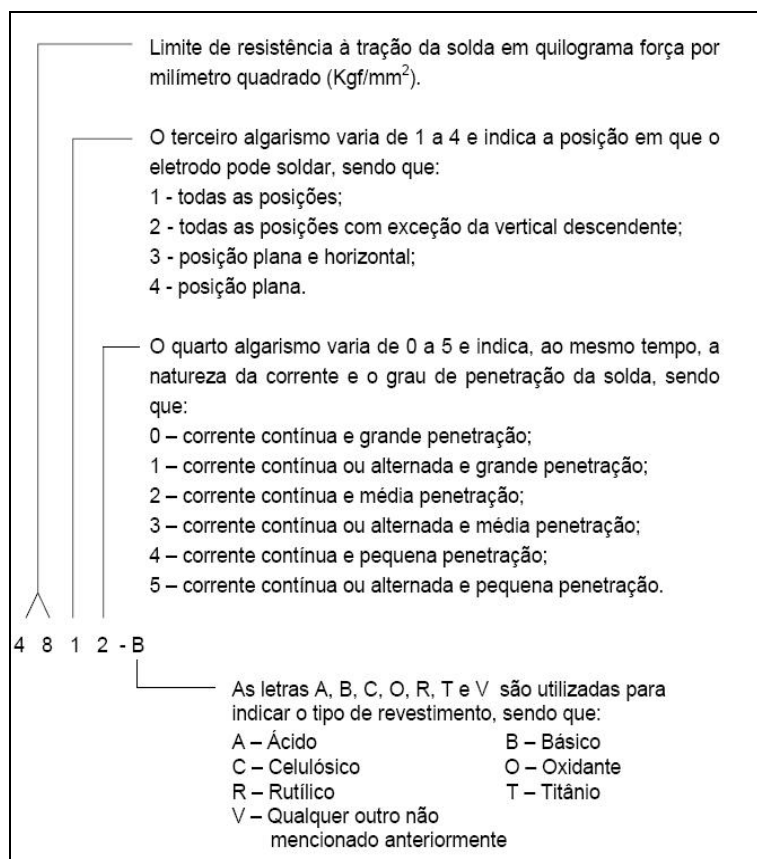
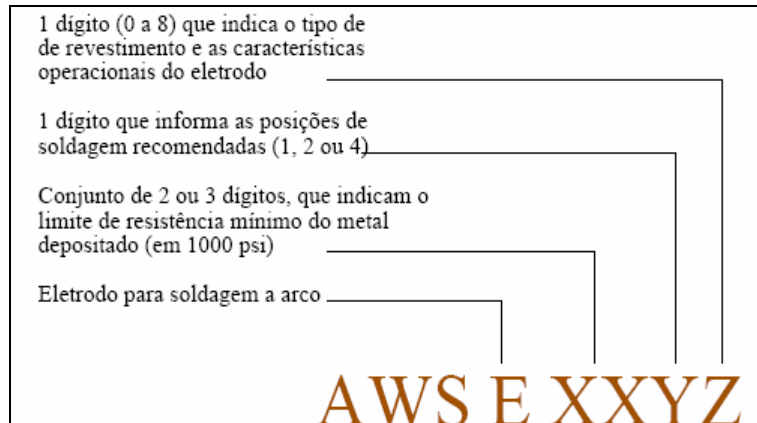
O núcleo é o material de adição para preenchimento das juntas e sua escolha deve ser levada em consideração o metal de base a ser soldado.

Já os revestimentos possuem substâncias com funções específicas como:

- Criar uma atmosfera propícia a passagem de corrente elétrica;
- Produzir escória que recobre o metal depositado evitando resfriamento brusco, evitando o contato do metal depositado com o oxigênio e o hidrogênio presentes na atmosfera;
- Contêm elementos de liga que propiciam uma boa fusão entre o metal depositado e o metal de base;
- Contêm elementos estabilizadores que mantêm o arco constante.

Na escolha do tipo de eletrodo além da importância ter o conhecimento acima descrito se faz imprescindível a consulta a manuais técnicos dos fabricantes para a escolha ideal tendo em vista as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Os eletrodos são normalizados e aprovados por entidades certificadoras quanto ao seu emprego e qualidade nos quais cada um recebe um símbolo que identifica suas propriedades posições de soldagem e demais variáveis do processo. O quadro 2 apresenta o esquema de classificação de eletrodos de aço carbono de acordo com a AWS, já o quadro 3 apresenta as principais características dos principais eletrodos utilizados com baixo teor de carbono.

Quadro 2 - Simbologia segunda AWS



Fonte: ESAB

Quadro 3 – Eletrodos com baixo teor de carbono

Tipo	Comp. (%)	Aplicação	Propriedades mecânicas*	Máquina soldadora	Ø eletrodo(mm)	Corrente (A)
22.50 celulósico (E 6010)	C 0,11 Si 0,2 MN 0,4	Uso geral Estruturas Grande penetração	490-520 MPa A 22-24 %	23-28 V CC	2,5	70 –85
					3,25	80-140
					4	100-185
					5	140-250
22.65 celulósico (E 6011)	C 0,10 Si 0,15 Mn 0,35	Tubulações Estruturas Grande penetração	480-510 MPa A 28-33 %	23-35 V CC-CA	2,5	40-75
					3,25	60-125
					4	80-180
					5	120-230
46.00 rutílico (E 6013)	C 0,07 Si 0,2 MN 0,35	Tubulações Estruturas Chapa galvanizada	480-520 MPa A 22-24 %	18-28 V CC-CA	2,5	60-100
					3,25	80-150
					4	105-205
					5	150-300
46.02 ilmenítico (E 6013)	C 0,11 Si 0,1 MN 0,2	Estruturas Chapas Pouco sensível à ferrugem	460-490 MPa A 28-30%	21-35 V CC-CA	2,5	75-95
					3,25	90-150
					4	100-200
48.04 básico (E 7018)	C 0,07 Si 0,5 MN 1,0	Estrut. rígidas Aços fundidos Aços desconhecido	530-590 MPa A 27-32 %	20-30 V CC-CA	2,5	65-105
					3,25	110-150
					4	140-195
					5	185-270
48.30 básico (E 7018-1)	C 0,07 Si 0,5 MN 1,4	Estrt. metálica altamente solicitada Vasos de pressão	550-630 MPa A 26-30 %	21-26 V CC	2,5	80-110
					3,25	110-150
					4	150-200
					5	200-250

Para o armazenamento dos eletrodos revestidos, existem normas rígidas que padronizam a estocagem e ou armazenagem dos mesmos, com a finalidade de manter as características físicas e químicas dos eletrodos durante a soldagem.

Alguns tipos de eletrodos são altamente higroscópicos, sendo necessário o uso de dispositivos e ou equipamentos para seu armazenamento e preparação, como a ressecagem, que é a retirada da umidade existente no mesmo, além de impedir que os mesmos absorvam umidade quando expostos ao ar. Também é indispensável a consulta aos manuais técnicos dos fabricantes para definição das temperaturas de armazenamento e ressecagem destes eletrodos, pois períodos longos e ou temperaturas fora das especificações podem prejudicar as propriedades dos mesmos.

2.5.2 Soldagem a arco submerso (SAW)

Soldagem a arco submerso (SAW) une metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico (ou arcos), entre um eletrodo nu (ou vários eletrodos) e o metal de base. O arco está submerso e coberto por uma camada de material granular fusível que é conhecido por fluxo (figura 16); portanto o regime de fusão é misto: por efeito joule e por arco elétrico.

Dispositivos automáticos asseguram a alimentação do eletrodo (ou dos eletrodos) a uma velocidade conveniente de tal forma que sua ou suas extremidades mergulhem constantemente no banho de fluxo em fusão. A movimentação do arame em relação à peça faz progredir passo a passo o banho de fusão que se encontra sempre coberto protegido por uma escória que é formada pelo fluxo e impurezas.

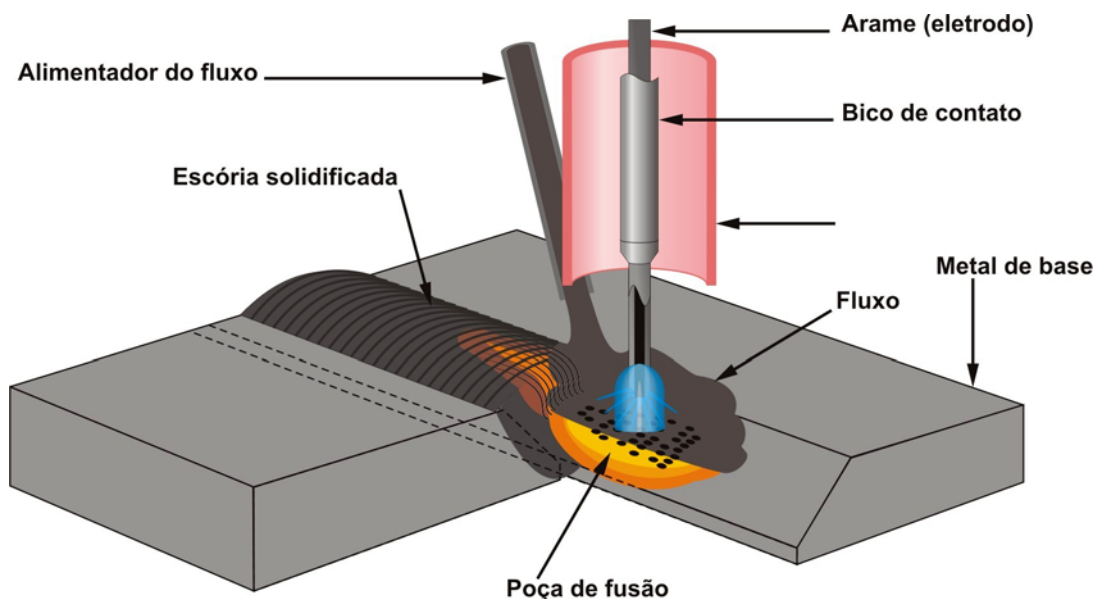


Figura 16 – Soldagem a arco submerso.

Fonte: SENAC

A soldagem a arco submerso pode ser usada para muitas aplicações industriais, que incluem fabricação de navios, fabricação de elementos estruturais, vasos de pressão, etc. O processo pode ser usado para soldar seções finas, bem como seções espessas (5 mm até acima de 200 mm). O processo é usado principalmente nos aços carbono, de baixa liga e inoxidáveis. Ele não é adequado para todos os metais ligas.

Uma vantagem da soldagem a arco submerso é sua alta penetração. A taxa de deposição alta reduz a energia total de soldagem junta. Soldas que necessitam de vários passes no processo de soldagem com eletrodo revestido, podem ser depositadas num só passe pelo processo a arco submerso.

Neste processo o soldador ou o operador de solda não necessita usar um capacete ou máscara de proteção. O profissional não pode ver o arco elétrico através do fluxo e tem dificuldades de acertar a direção do arco quando se perde o curso.

Devido ao arco estar oculto da vista e requerer um sistema de locação de curso, o processo de soldagem a arco submerso tem flexibilidades limitadas. Mas, isto é compensado por diversas vantagens, tais como:

- alta qualidade de solda e resistência;
- taxa de deposição e velocidade de deslocamento extremamente alto;
- nenhum arco de soldagem visível, minimizando requisitos de proteção;
- pouca fumaça;
- facilmente automatizável, reduzindo a necessidade de operadores habilidosos.

2.5.2.1. Equipamentos utilizados

A Soldagem a arco submerso é um processo normalmente automático podendo ser encontrado como semi-automático, em que a alimentação do consumível e o comprimento do arco são controlados pelo alimentador de arame ou fita e pela fonte de energia. No processo automático, um mecanismo de avanço movimenta o cabeçote de soldagem ao longo da peça, e normalmente um sistema de recuperação do fluxo granular não utilizado. Na soldagem de união de cilindros, o cabeçote de soldagem permanece fixo e o conjunto se movimenta através de posicionadores giratórios.

A fonte de energia para a soldagem a arco submerso pode ser uma das seguintes:

- uma tensão variável de gerador CC (Corrente Contínua) ou retificador;
- uma tensão contínua de gerador CC ou retificador;
- um transformador de CA (Corrente Alternada).

A tendência atual é para o uso de retificadores de tensão constante ou de característica plana. Neste tipo de equipamento quando se aumenta a velocidade de alimentação de arame o equipamento aumenta a corrente de soldagem. Para se variar a energia de soldagem é necessária ajustar a voltagem.

As fontes de energia fornecem altas correntes de trabalho. A maioria da uma faixa de 350 a 2000 A (Amperes).

A soldagem com corrente contínua permite melhor controle de formato do passe de soldagem, da profundidade de penetração e da velocidade de soldagem. A soldagem em corrente contínua normalmente desenvolve-se com polaridade inversa (eletrodo positivo, CC+)

A corrente alternada tem a vantagem de reduzir o sopro magnético (deflexão do arco de seu percurso normal, devido a forças magnéticas).

Os eletrodos para soldagem a arco submerso têm, usualmente, composição química muito similar à composição do metal de base.

Fluxos para soldagem a arco submerso também alteram a composição química da solda e influenciam em suas propriedades mecânicas. As características do fluxo são similares às dos revestimentos usados no processo de soldagem a arco com eletrodo revestido. Os diferentes tipos de como seguem:

- fundido;
- aglutinado;
- aglomerado;
- mecanicamente misturado.

A composição da solda é alterada por fatores como reações químicas do metal base com elementos do eletrodo e do fluxo, e elementos de liga adicionados através do fluxo.

As várias combinações arame-fluxo possibilitam grande flexibilidade para alcançar as propriedades desejadas à solda.

2.5.3 Soldagem TIG

Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo não consumível de tungstênio ou liga de tungstênio sob uma proteção gasosa de gás inerte ou misturar de gases inertes. Pode ou não ser utilizado material de adição.

Soldagem TIG é a união de metais pelo aquecimento e fusão destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio puro ou de ligas a base de tungstênio, e a peça. A figura 17 ilustra o processo e equipamentos empregados.

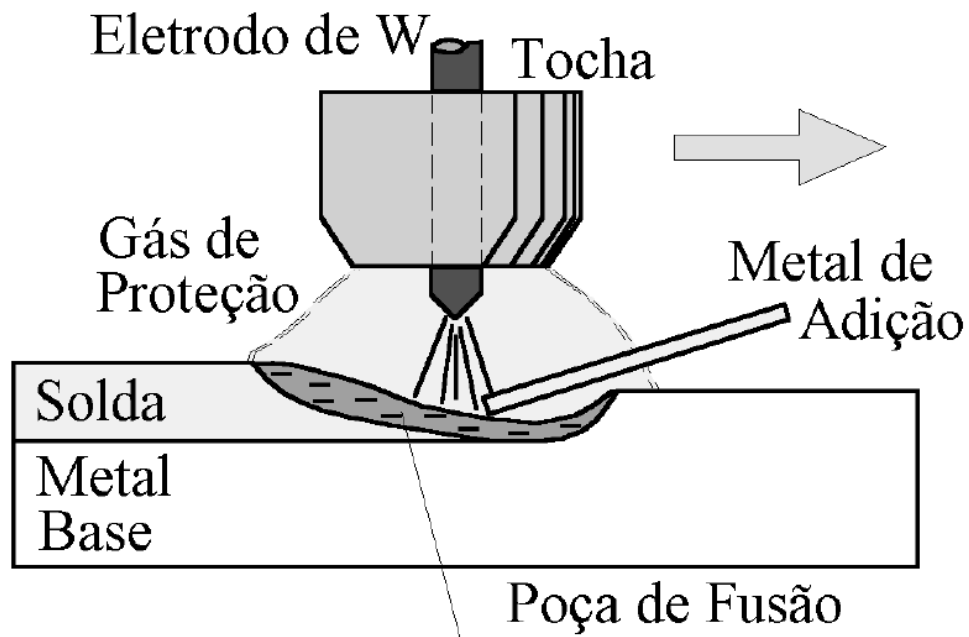


Figura 17 – Soldagem TIG

Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais

A proteção durante a soldagem é conseguida com um gás inerte ou mistura de gases inertes, que também tem a função de transmitir a corrente elétrica quando ionizados durante o processo. A soldagem pode ser feita com ou sem metal de adição (solda autógena). Quando é feita com metal de adição, ele não é transferido através do aço, mas é fundido pelo arco, não fazendo, portanto parte do circuito elétrico de soldagem.

A área do arco é protegida da contaminação atmosférica pelo gás de proteção, que flui do bico da pistola. O gás remove o ar, eliminando a contaminação do metal fundido e do eletrodo de tungstênio aquecido pelo nitrogênio e oxigênio presentes na atmosfera. Há Pouco ou nenhum salpico e fumaça. A camada da solda é suave e uniforme, requerendo pouco ou nenhum acabamento posterior.

A soldagem TIG pode ser usada em soldas de alta qualidade na maioria dos metais e ligas. Não apresenta nenhuma escória e o processo pode ser usado em todas as posições. Este é o processo mais lento dos processos de soldagem manuais.

A soldagem TIG é um processo bastante adequado para espessuras finas dado ao excelente controle da poça de fusão (arco elétrico). O processo pode ser aplicado em locais que não necessitam de metal de adição.

Este processo pode também unir paredes espessas de chapas e tubos de aço e de ligas metálicas. É usado tanto para soldagem de metais ferrosos como de não ferrosos. Os passes de raiz de tubulações de aço carbono e aço inoxidável, especialmente aquelas de aplicações críticas são freqüentemente soldadas pelo processo TIG.

Embora a soldagem TIG tenha um alto custo inicial e baixa produtividade, estes são compensados pela possibilidade de se soldar muitos tipos de metais, de espessuras e em posições não possíveis por outros processos, bem como pela obtenção de soldas de alta qualidade e resistência.

A soldagem TIG possibilita soldar alumínio, magnésio, titânio, cobre e aços inoxidáveis, como também metais de soldagem difícil e outros de soldagem relativamente fácil como os aços carbono.

2.5.4 Soldagem MIG e MAG

Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo consumível sob proteção gasosa, que utiliza como eletrodo um arame maciço e como proteção gasosa um gás inerte (MIG), um gás ativo (MAG), ou misturas de gases (figura 18).

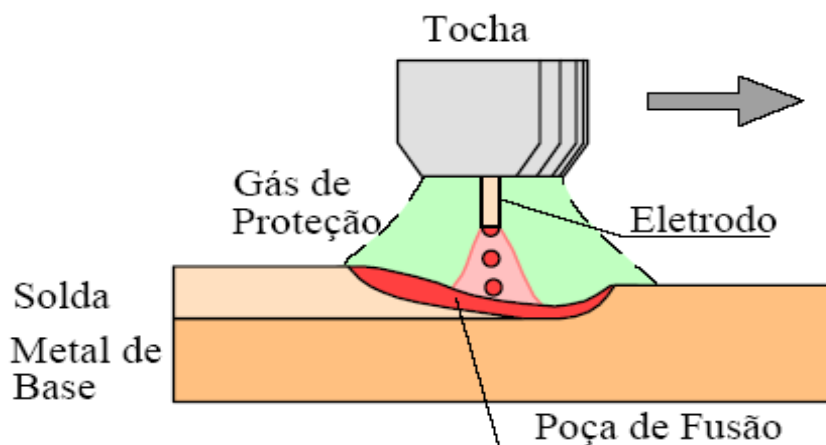


Figura 18 – Soldagem MIG e MAG

Fonte: Prof. Wendel Fernandes da Rocha

A soldagem MIG/MAG usa o calor de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo nu alimentado de maneira contínua e o metal base, para fundir a ponta do eletrodo e a superfície do metal de base na junta que está sendo soldada. A proteção do arco e da poça de solda fundida vem inteiramente de um gás alimentado externamente, o qual pode ser inerte, ativo ou uma mistura destes.

Escórias formadas nos processos de soldagem com eletrodo revestido e soldagem a arco submerso, não são formadas no processo de soldagem MIG/MAG, porque nesses processos não se usa fluxo. Entretanto, um filme vítreo (que tem aspecto de vidro) de sílica se forma de eletrodos de alto silício, o qual deve ser tratado como escória.

A soldagem MIG/MAG pode ser semi-automático ou automático.

A soldagem MIG/MAG produz soldas de alta qualidade com procedimentos de soldagem apropriados. Como não é utilizado um fluxo, a possibilidade da inclusão de escória semelhante ao processo eletrodo revestido ou arco submerso é mínima, podendo, por outro lado, ocorrer a inclusão de uma escória vítrea característica do processo se a limpeza interpasse não for feita de maneira adequada. Hidrogênio na solda é praticamente inexistente.

A soldagem MIG/MAG é um processo de soldagem para todas as posições, dependendo do eletrodo e do gás ou gases usados. Pode soldar a maioria dos metais e ser utilizado inclusive para a deposição de revestimentos superficiais. Tem capacidade para soldar espessuras maiores de 0,5 mm por transferência por curto circuito. A taxa de deposição pode chegar a 15 kg/h dependendo do eletrodo, modo de transferência, gás usado.

O equipamento de soldagem MIG/MAG consiste de uma pistola de soldagem, um suprimento de energia, um suprimento de gás de proteção e um sistema de acionamento de arame.

2.5.5 Soldagem a arco com arame tubular

Processo de soldagem a arco que produz a coalescência de metais pelo aquecimento deste com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico tubular, contínuo, consumível e o metal de base. A proteção do arco e do cordão é feita por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo, que pode ou não ser

suplementada por uma proteção gasosa adicional fornecida por uma fonte externa, conforme apresenta a figura 19.

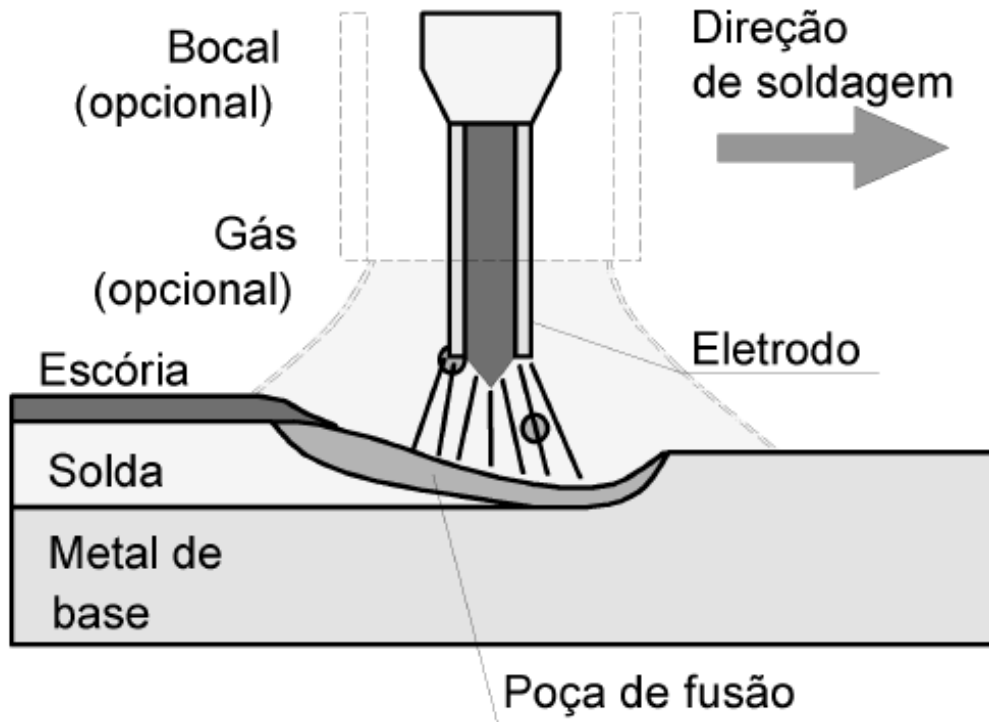


Figura 19 – Soldagem a arco com arame tubular
Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais

A soldagem com arame tubular foi desenvolvida visando unir as vantagens do processo MIG/MAG (semi-automático ou automático) com as do processo com eletrodo revestido (revestimento fusível, formador de gases protetores, escória, elementos de liga, etc.). Deste modo o arame eletrodo maciço foi substituído por outro, composto de um arame tubular com alma de fluxo fusível, semelhante ao utilizado no arco submerso.

Existem dois tipos de arames tubulares:

- Autoprotégido – onde a proteção do arco e da poça de fusão é feita unicamente pela queima do fluxo em pó, contido no núcleo do arame.
- Proteção adicional de gás – onde, além dos gases gerados pelo fluxo, é utilizado um gás adicional para a proteção, que flui pelo mesmo bocal de onde emerge o arame tubular. Os gases normalmente utilizados são:

- CO₂ (dióxido de carbono)
- Ar + 2% de O₂ (oxigênio)
- Ar + 18 – 25% de CO₂

A escória formada sobre o metal de solda possui as mesmas funções metalúrgicas daquelas vistas anteriormente nos processos de soldagem com eletrodo revestido e arco submerso. Aliada a estas funções, a escória promove um ótimo acabamento.

Pela utilização de arames de maior diâmetro e faixas mais altas de corrente elétrica têm-se, em comparação com o processo MIG/MAG, elevadas taxas de deposição, juntamente com boa penetração e velocidade de soldagem altas.

Assim como os arames maciços, utilizados nos processos MIG/MAG, o arame tubular também é embalado numa forma contínua (bobinado); por esta razão, eles podem ser empregados tanto em processos semi-automáticos como em processos automáticos. Em ambos os processos, o arame tubular é alimentado automaticamente através de uma pistola. No processo semi-automático, o soldador controla a inclinação e a distância da pistola à peça, bem como a velocidade de deslocamento e a manipulação do arco.

O equipamento de soldagem como arame tubular é bastante próximo ao utilizado no processo MIG/MAG, com as seguintes ressalvas:

- a fonte tem capacidade de gerar maior intensidade de corrente;
- as pistolas, para intensidade de corrente alta, usualmente são refrigeradas com água ou ar;
- no processo autoprotetido o sistema de gás é inexistente.

Este processo apresenta alta taxa de deposição e a solda possui boa qualidade decorrente dos benefícios metalúrgicos provenientes do fluxo, justificando a vasta aplicação na indústria.

Um cuidado especial deve ser tomado durante a remoção da escória formada sobre cada passe depositado, de modo a evitar inclusões na junta soldada.

2.6 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES

“Ensaio não destrutivo, são aqueles que, quando realizado sobre peças semi acabadas e acabadas, não prejudicam, nem interferem com o uso futuro da mesma”(Prof. Paulo J. Modenesi).

Os ensaios não destrutivos envolvem todos os métodos para a medição e detecção de propriedades, capacidade de desempenho dos materiais metálicos, partes e peças de equipamentos e estruturas, por meio de energias físicas que não danificam as mesmas. Já citado anteriormente, existem uma infinidade de ensaios não destrutíveis, dentre os quais vamos destacar:

2.6.1 Ensaio visual

Tem por finalidade, o controle de qualidade imediatamente e após qualquer operação de soldagem. Todos os outros ensaios não destrutivos devem ser executados após uma boa inspeção visual, que pode ser feita, à vista desarmada, ou com auxílio de lupa ou com aparelhos ou instrumentos para inspeção remota.

Para este tipo de ensaio, a Petrobrás através da norma N-1597, fixa condições exigíveis para a realização deste tipo de ensaio.

2.6.2 Teste de estanqueidade

Este tem como objetivo principal a detecção de defeitos passantes em soldas, como por exemplo as soldas de chapas de reforço, soldas em ângulos de juntas sobrepostas do fundo de tanques de armazenamento e soldas em ângulo de ligação fundo-costado. É utilizado também para a detecção de defeitos passantes em chapas e fundidos.

Um dos métodos baseia-se na aplicação de uma solução formada de bolhas, estando cada trecho inspecionado sujeito a um vácuo parcial.

2.6.3 Líquido penetrante

O ensaio por meio de líquido penetrante é relativamente simples, rápido e de fácil execução.

É utilizado na detecção de descontinuidades abertas para a superfície de materiais sólidos não porosos. A detecção das descontinuidades independem do tamanho, orientação, configurações da descontinuidade e da estrutura interna ou composição química do material. Este método é usado para a revelação de descontinuidades superficiais e é baseado na penetração destes por um líquido apropriado e na sua posterior remoção pela aplicação de um material absorvente (revelador) na superfície sendo examinada.

2.6.4 Partícula magnética

O ensaio por meio de partículas magnéticas é utilizado para localizar descontinuidades superficiais e sub-superficiais em peças de material ferromagnéticos, tais como, as ligas de ferro e níquel. O método consiste na aplicação de uma corrente de magnetização, ou de um campo magnético à peça inspecionada, com o objetivo de se ter um campo magnético nesta. A presença de descontinuidades superficiais ou sub-superficiais irá produzir campos de fuga na região da descontinuidade, causando uma polarização localizada, que é detectada pelas partículas ferromagnéticas que são aplicadas sobre a peça.

2.6.5 Ultra-som

O ensaio por ultra-som usa a transmissão do som, que é uma forma de energia mecânica em forma de ondas, a frequências acima da faixa audível. Pela técnica pulso-eco, consiste basicamente de pulsos de alta frequência, emitidos pelo cristal, que caminham através do material. Estes pulsos refletem quando encontram uma descontinuidade ou na superfície do material. Esta energia mecânica (som) é recebida de volta pelo cristal, que transforma o sinal mecânico em sinal elétrico, que é visto na tela do aparelho.

2.6.6 Ensaio radiográfico

O ensaio radiográfico utiliza os raios X e raios gama para mostrar a presença e certas características de descontinuidades internas ao material.

O método baseia-se na capacidade que os raios X e gama possuem de penetrar em sólidos.

Esta capacidade depende de vários fatores, tais como comprimento da onda da radiação, tipo e espessura do material. Quando menor for o comprimento de onda, maior é a capacidade de penetração da radiação.

Parte da radiação atravessa o material e parte é absorvida. A quantidade de radiação absorvida depende da espessura do material. Onde existe um vazio ou descontinuidade há menos material para absorver a radiação. Assim, a quantidade de radiação que atravessa o material não é a mesma em toda as regiões. A radiação após atravessar o material irá impressionar um filme, formando uma imagem do material. Este é chamado de radiografia.

3 DESCONTINUIDADE

É qualquer interrupção da estrutura típica ou (esperada). Neste sentido pode se considerar como descontinuidade qualquer alteração na homogeneidade nas propriedades físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda (Wendel Fernandes da Rocha).

As descontinuidades dividem-se em três tipos:

- dimensional;
- estruturais;
- descontinuidades relacionadas com as propriedades indesejáveis da região da solda.

3.1 DESCONTINUIDADES DIMENSIONAIS

Para a fabricação de qualquer estrutura soldada é necessário que tanto a estrutura como as suas soldas tenham dimensões e formas similares (dentro das tolerâncias exigidas) às indicadas em desenhos, projetos, ou contratos. Uma junta que não atenda a esta exigência pode ser considerada defeituosa, sendo necessário a sua correção para aceitação final. As principais descontinuidades estruturais são:

3.1.1 Distorção

É a mudança de forma da peça devido às deformações térmicas do material durante a soldagem, conforme apresenta a figura 20

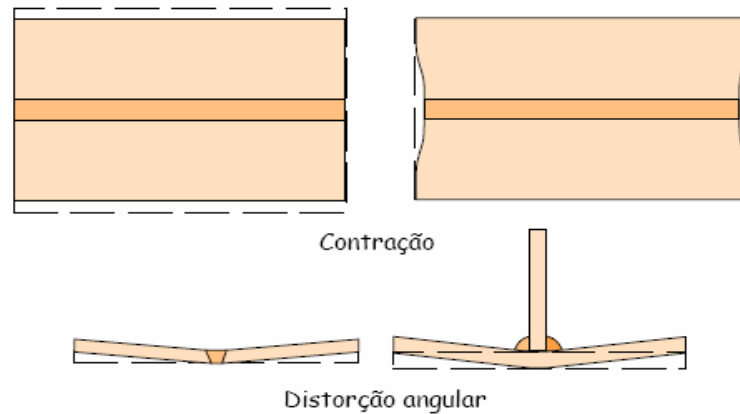


Figura 20 – Distorções

Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais

3.1.2 Preparação incorreta da junta

Inclui falha ao produzir um chanfro com as dimensões ou forma fora das especificadas (figura 21).

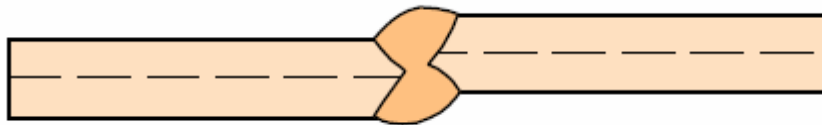


Figura 21 – Juntas incorretas

Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais

A figura 22 apresenta esta falha detectada em campo, apresentando grosseira falha na preparação de uma junta entre duas peças a serem soldadas



Figura 22 – Verificação em campo de juntas incorretas

3.1.3 Dimensão incorreta da solda (perfil do cordão)

O perfil do cordão de solda é importante pois variações bruscas agem como concentradores de tensão, facilitando o aparecimento de trincas o facilitar o aprisionamento de escórias. A figura abaixo apresenta algumas das diversas imperfeições ocorridas nas dimensões dos cordões de solda.

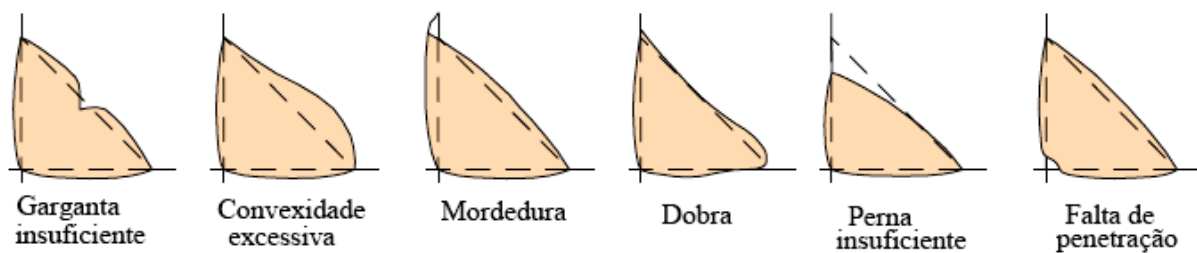


Figura 23 – Dimensões das juntas
Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais

3.2 DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS

3.2.1 Falta de fusão ou penetra

Esta descontinuidade caracteriza-se por uma falta de fusão localizada (figura 24), isto é, ausência de continuidade entre o metal depositado e o metal base ou

entre os dois cordões adjacentes. Geralmente podem aparecer na região da linha de fusão, entre os passes de solda ou na raiz da solda.

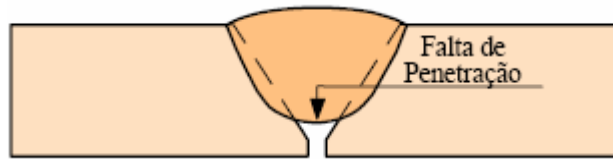


Figura 24 – Falta de penetração
Fonte: SENAI

Conseqüências:

- redução significativa da resistência da Solda;
- ponto para um possível início de trincas.

Causas da ocorrência:

- corrente de soldagem muito baixa;
- velocidade de soldagem muito alta;
- bitola do eletrodo inadequada;
- abertura excessiva da junta;
- falta de penetração devido a grande espessura da peça a ser soldada;
- angulo de eletrodo ou movimento do eletrodo inadequados;
- grande distância entre o eletrodo e a peça.

Método de correção:

- verificar junto ao fabricante, a faixa de amperagem mais adequada para aquele eletrodo, usando sempre acima da média especificada;
- reduzir a velocidade de aplicação do eletrodo, visando melhorar enchimento nos centros e nas laterais das juntas;
- usar uma bitola menor de eletrodo. Procurar aumentar o ângulo do chanfro para facilitar o acesso do eletrodo. Procurar na medida do possível executar soldas planas;

- Diminuir a distancia entre a peça e o eletrodo, conseqüentemente reduzindo o arco.

Identificação em campo:

As figuras 25, 26 e 27 apresentam cordões de solda com falha de penetração durante o processo.



Figura 25 – Falta de fusão em parte do cordão de solda



Figura 26 – Falta de penetração em parte do cordão de solda



Figura 27 – Falta de Fusão em parte do cordão de solda

3.2.2 Excesso de respingos

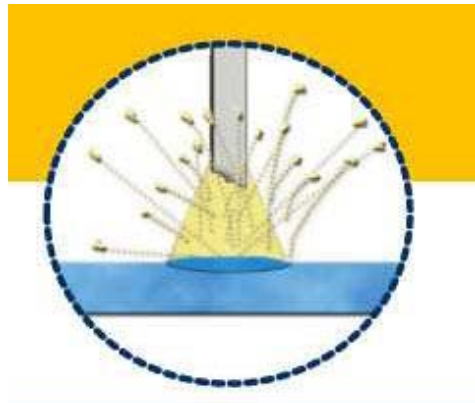


Figura 28 – Excesso de respingos
Fonte: GERDAU

Conseqüências:

- deixa o acabamento do cordão de solda irregular, embora não afete a resistência da solda;
- aumenta o Custo de Limpeza da junta soldada.

Causas da ocorrência:

- amperagem da máquina de solda muito alta;

- grande distância entre o eletrodo e a peça (arco longo);
- sopro Magnético (o arco se desvia sem o movimento do eletrodo);
- peça suja, com ferrugem ou úmida;
- eletrodo úmido;

Método de correção:

- verificar junto ao fabricante, a faixa de amperagem mais adequada para aquele eletrodo, usando sempre acima da média especificada;
- diminuir a distancia entre a peça e o eletrodo, conseqüentemente reduzindo o arco;
- mude a posição do cabo terra, melhore o contato elétrico do cabo com a peça e não deixe os cabos enrolados;
- limpe superfície da peça usando lixadeira ou escova de aço para remover sujeiras em geral, ferrugem e solventes para remoção de tintas , óleos e graxas. A umidade da peça pode ser diminuída com o auxílio do maçarico;
- acondicione os eletrodos conforme especificados pelo fabricante.

Identificação em campo:

As figuras 29, 30 e 31 apresentam indícios de respingos ao lado dos cordões de solda. Pode-se observar que na maioria dos casos esse problema esta associado a outros problemas.



Figura 29 – Respingo excessivo

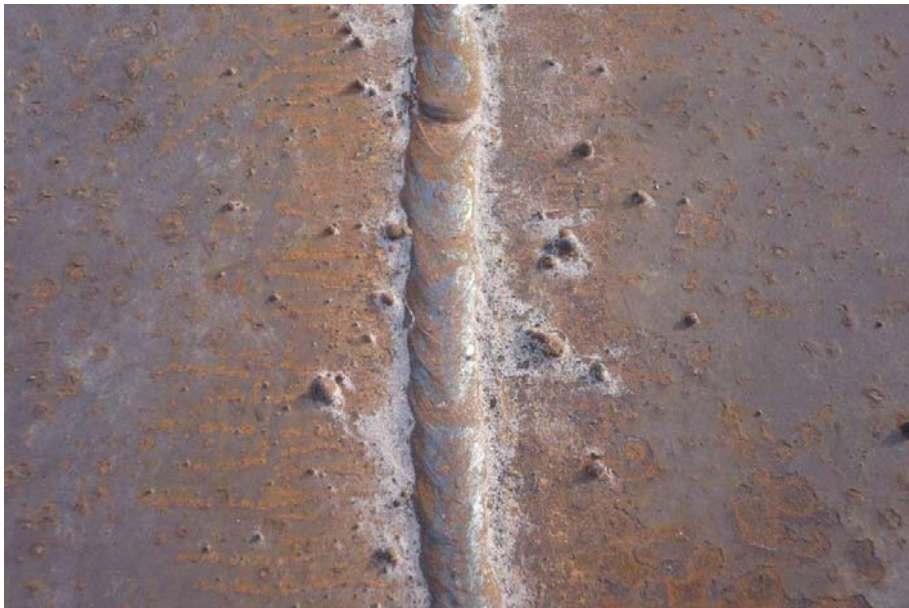


Figura 30 – Respingo excessivo



Figura 31 – Respingo excessivo

3.2.3 Mordeduras

Esta descontinuidade tem como característica a formação de depressão, gerando entalhes no pé do cordão, isto é, entre o metal de base do cordão de solda. (figura 32). A existência de mordeduras significa redução da seção resistente e, conseqüentemente, um enfraquecimento da junta soldada.

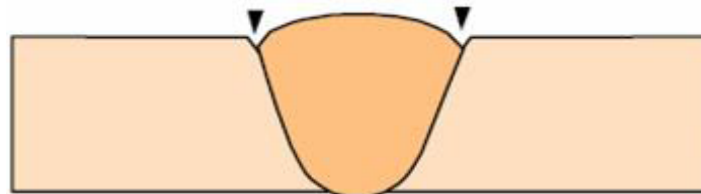


Figura 32 – Mordedura
Fonte: SENAI

Conseqüências:

- prejudicam o acabamento e resistências da solda;
- atuam como pontos para início de trincas;
- pontos preferências para inicio de um processo corrosivo;

Causas da ocorrência:

- corrente de soldagem muito alta;
- velocidade de soldagem muito alta;
- bitola do eletrodo muito grossa para o chanfro;
- angulo de eletrodo ou movimento de eletrodo inadequado;
- distancia muito alta do eletrodo para a peça;
- eletrodo úmido;

Método de correção:

- verificar junto ao fabricante, a faixa de amperagem mais adequada para aquele eletrodo, usando sempre acima da média especificada;
- reduzir a velocidade de soldagem para um enchimento correto das laterais da junta;
- mudar o ângulo do eletrodo para que a força do arco segure o metal nas laterais, mantenha a velocidade de soldagem adequada;
- diminuir a distancia entre o eletrodo e a peça, para proporcionar um arco mais curto
- acondicionar os eletrodos conforme especificados pelo fabricante.

Identificação em campo:

A figura abaixo apresenta cordão de solda com mordedura em parte de seu comprimento.



Figura 33 – Mordeduras no cordão de solda

3.2.4 Trincas

São consideradas em geral, as discontinuidades mais graves em uma junta soldada por serem fortes concentradores de tensão (figura 34) e elas podem se formar durante logo após a soldagem ou em operações subseqüentes a soldagem, e podem acontecer a quente e a frio.

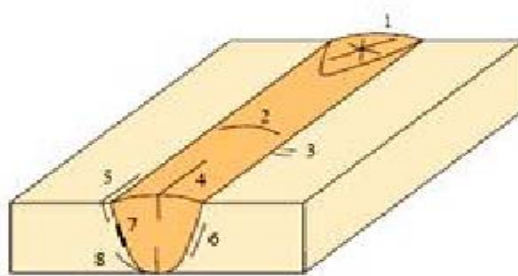


Figura 34 – Trincas

Fonte: SENAI

Conseqüências:

- existem muitos tipos de trincas, porém nem todas são visíveis, mas todas elas são potencialmente perigosas para a integridade do cordão de solda;
- elas podem se propagar e quebrar totalmente a peças em serviço;

Causas da ocorrência:

- trincas de cratera, no final do cordão o arco é fechado muito rápido;
- teor de carbono ou enxofre elevado no metal base, o que significa estar utilizando um eletrodo não adequado;
- peça muito espessa ou junta muito rígida;
- cordão de solda muito côncavo ou muito convexo;
- eletrodo úmido;
- junta ou chanfro incorreto em peças de espessuras elevadas ou com vários passes;

Método de correção:

- no final do cordão, retorne ou passe o deslocamento para encher adequadamente a cratera de solda;
- usar eletrodo apropriado para o tipo de metal, conforme indicação do fabricante. Verificar se ele está devidamente seco. Pré-aquecer a peça e reduzir a penetração baixando a corrente de soldagem;
- previra na medida do possível, cordões planos ou ligeiramente convexos;
- melhore a montagem das peças a serem soldadas, de forma a permita que o metal base dilate e contraia livremente.

Identificação em campo:

As figuras 35 e 36 apresentam trincas em cordões de solda, que tornaram-se pontos de fragilidade, prejudicando todo o conjunto em questão.



Figura 35 – Trincas propagadas

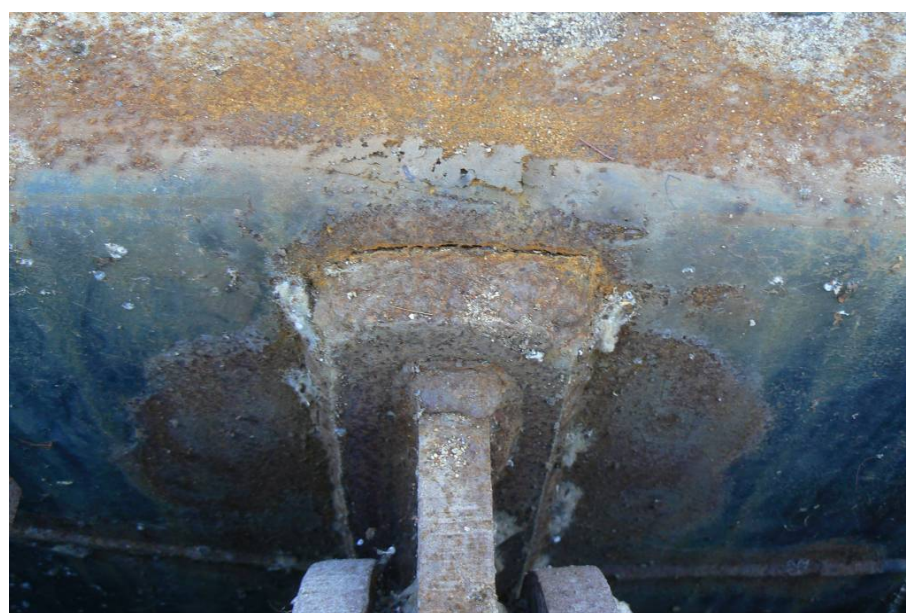


Figura 36 – Trincas propagadas devido ao trabalho da peça

3.2.5 Inclusão de escória

Este termo é usado para descrever partículas de óxidos e outros sólidos não metálicos, aprisionados entre os passes de solda ou entre o metal de solda e o metal de base (figura 37), geralmente formado por materiais poucos solúveis.

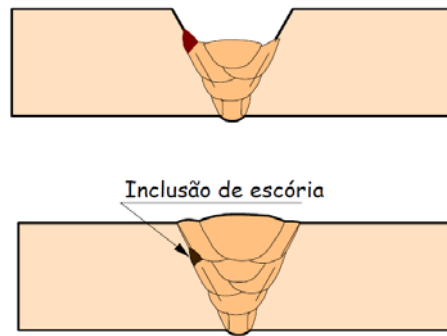


Figura 37 – Inclusão de Escória
Fonte: SENAI

Conseqüências:

- reduz a resistência da solda;
- ponto onde possivelmente se dará início a um processo corrosivo;
- restos de escória fragilizam o cordão

Causas da ocorrência:

- entre um cordão e outro a escoria não foi removida devidamente;
- na troca de eletrodo, a escoria não removida no final do cordão;
- angulo de eletrodo ou movimento inadequado;
- bitola do eletrodo muito grossa par o tipo de trabalho, ou então chanfro muito apertado, com isso a escória não destaca com facilidade.

Método de correção:

- remova totalmente a escoria antes de aplicar outro cordão de solda, usando alem de picadeira, uma escova de aço;
- ao substituir um eletrodo, limpe o final da solda para começar a soldagem em uma superfície limpa;
- use uma bitola de eletrodo menor , aumente o angulo do chanfro para facilitar o acesso do eletrodo e conseguintemente facilitar a remoção de escoria.

Identificação em campo:



Figura 38 – Inclusão de Escória



Figura 39 – Inclusão de Escória

3.2.6 Porosidade

As principais causas operacionais de formação de porosidade (figura 40) estão relacionadas com as contaminações de sujeira, oxidação e umidade, na superfície do metal de base e consumíveis de soldagem.

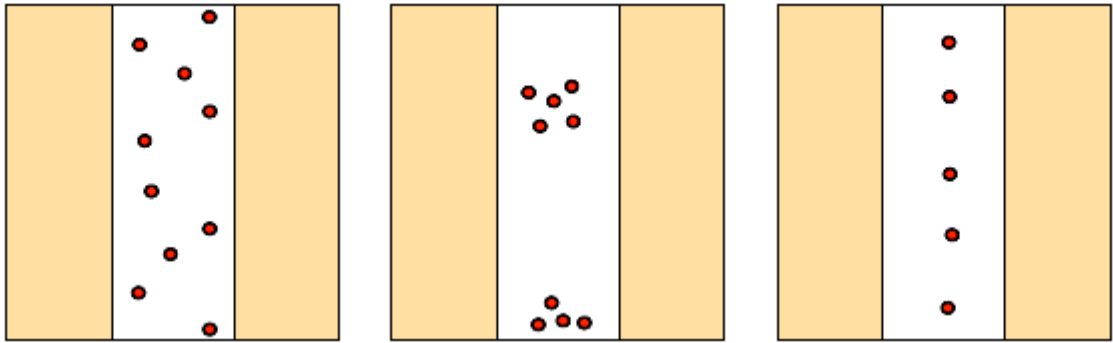


Figura 40 – Porosidade
Fonte: SENAI

Conseqüências:

- Sua presença deixa a solda frágil e sem resistência;
- muitas vezes esse problema ocorre no interior da solda e não pode ser detectável através de inspeção visual.

Causas da ocorrência:

- peça suja, enferrujada ou úmida;
- corrente de soldagem incorreta;
- velocidade de soldagem muito alta;
- distancia muito alta do eletrodo a peça ;
- polaridade incorreta;
- eletrodo úmido.

Método de correção:

- limpar as superfícies a serem soldadas com lixadeira ou escova de aço para remover de forma efetiva a ferrugem presente;
- verificar junto ao fabricante do eletrodo a faixa de corrente adequada para a bitola em uso, geralmente esta informação esta presente na embalagem;
- soldar com eletrodo mais próximo da peça;
- verificar a polaridade indicada para ser usada com aquele eletrodo;
- acondicionar de forma adequada os eletrodos.

Identificação em campo:

Esse tipo de falha, raras as vezes poderão ser detectados a vista desarmada, porém alguns casos como apresentados nas figuras 41 e 42 são possíveis de acontecer.



Figura 41 – Porosidade em junta soldada



Figura 42 – Porosidade em junta soldada

3.3 PROPRIEDADES INADEQUADAS

Soldas depositadas em uma peça ou estrutura devem possuir propriedades (mecânicas, químicas etc.) adequadas para a aplicação pretendida. Estas propriedades são em geral, especificadas e verificadas em testes de qualificação ou em amostras retiradas de um lote da produção. As propriedades mecânicas freqüentemente avaliadas são limite de resistência atração e escoamento ductilidade e tenacidade da junta soldada., propriedades químicas também são de interesse e podemos incluir a composição química resistência a corrosão.

4 CONCLUSÃO

Pode-se constatar através da realização deste trabalho, que é dada pouca importância ao assunto defeitos em solda, muitas vezes devido a uma enormidade de outros problemas recorrentes em uma obra, mas também por falta de preparo dos profissionais envolvidos. Mas, fato é que há ocorrência do problema durante a execução e se faz necessário sua correção.

O integral conhecimento sobre os mais comuns processos de soldagem, nos permite intervir dentro deste processo de forma mais eficaz com objetivo de prevenir as possíveis falhas.

Como foi possível observar, na maioria das discontinuidades, as causas são relativamente simples de serem evitadas, bastando apenas um pouco de orientação no trato do processo.

Para se executar uma soldagem sem discontinuidades (defeitos) é necessário determinar os parâmetros e as variáveis descritas neste trabalho antes da operação. Outro fator importante se refere a mão de obra dentro do processo. Ela deve ser conhecedora destes defeitos mais recorrentes e treinada para que não seja ele um dos fatores para uma possível discontinuidade.

Medidas simples, de baixo custo, sem grandes complexidades, podem garantir uma excelente qualidade no processo de soldagem e conseqüentemente evitar prejuízos financeiros e a integridade da estrutura soldada.

BIBLIOGRAFIA

SOLDAGEM por eletrodos revestidos nível I. Apostila Aracaju: SENAI-SE, 2008.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios industriais em aço.** São Paulo: Pini 1994

BARRA, Sergio Rodrigues, PEREIRA, Aldo Santos. **Descontinuidades em Soldagem.** Trabalho de Pesquisa para pós-graduação. Florianópolis: UFSC 1999

CETRE do Brasil, **Inspetor de soldagem.** Apostila. 6ª edição . Rio de Janeiro: CETRE 2007

MODENESI, Paulo J. **Descontinuidade e inspeção em juntas de solda.** Apostila. Belo Horizonte: UFMG 2001

©The Lincoln Electric Co. **Effect of welding variables.** Usa: 2008.

OKUMURA, T, Taniguchi. **Engenharia de soldagem e aplicações.** Rio de Janeiro: LTC 1982

WAINER, E. ET AL. **Soldagem – processos e metalurgia.** São Paulo: Blucher, 1992

MARQUEZE, C. M. e QUITE, A. M.. **Descontinuidades em soldas.** Apostila. Florianópolis: Editado pelos Autores, 1995

RODRIGUES. C.M e PEREIRA, A.S. **Descontinuidades em soldas.** Trabalho de Pesquisa Florianópolis: Editado pelos autores, 1999

PFEIL, W e PFEIL M.. **Estruturas de Aço – dimensionamento prático**. 7 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2000.

PETROBRAS N-1590 - Ensaio Não-Destrutivo - Qualificação de Pessoal.

ROCHA, Wendel Fernandes Introdução ao processo de soldagem. Apostila. Belo Horizonte: Editado pelo autor, 2009

FUNDAMENTOS de soldagem. Apostila São Paulo: SENAC, 2008.