

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Luiz Alípio Cerqueira Neto

SOLDAGEM EM AÇO INOXIDÁVEL

Taubaté – SP

2017

Luiz Alípio Cerqueira Neto

SOLDAGEM EM AÇO INOXIDÁVEL

Monografia apresentada para obtenção do Título de Pós Graduação de Engenharia Mecânica com Especialização em Solda do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia Mecânica
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Esperança Canetti.

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca da Engenharias**

C416s Cerqueira Neto, Luiz Alipio
Soldagem em aços inoxidáveis. / Luiz Alípio Cerqueira Neto.
- 2017.

45f. : il; 30 cm.

Monografia (Especialização em Engenharia de Soldagem)
– Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia
Mecânica, 2017

Orientador: Prof. Me Eduardo Esperança Canetti,
Departamento de Pesquisa e Pós Graduação, Unitau.

1. Soldabilidade. 2. Aço inox. 3. Austenítico. I. Título.

Luiz Alípio Cerqueira Neto

SOLDAGEM EM AÇO INOXIDÁVEL

Monografia apresentada para obtenção do
Título de Pós Graduação de Engenharia
Mecânica com Especialização em Solda do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Engenharia Mecânica

Data: / /2017

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Dedico este trabalho à Deus acima de tudo.

AGRADECIMENTOS

À minha família que desde o início esteve ao meu lado, me incentivando e apoiando.

Ao Professor Dr. Eduardo Esperança Canetti, pela impecável orientação, confiança e incentivo atribuído ao desenvolvimento desta dissertação.

À Universidade de Taubaté e Professores, que forneceram todos os recursos e conhecimentos necessários para a minha formação e para realização deste trabalho.

A todas as pessoas que gentilmente colaboraram, respondendo os questionários, e tornaram possível a conclusão deste trabalho.

“Se não há erros não há tentativas, se não errou foi porque não tentou.”

(Autor Desconhecido)

RESUMO

O processo de Soldagem em aço Inox é um dos meios industriais mais importantes principalmente na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas onde a comercialização do aço inoxidável ocorre em forma de tubos, tarugos e tiras. O aço inox austenítico é um material não magnético que geralmente possui um acabamento prata e ligas metálicas com alto conteúdo de cromo e níquel o que produz um acabamento espelhado e faz com que sejam mais difíceis de soldagem principalmente por possuir uma camada de óxido. Durante a realização do processo de soldagem em aço inox podem ocorrer defeitos e falhas o que faz com que o entendimento do processo, seus requisitos e fragilidades devem ser aprofundados de forma a garantir a qualidade da soldabilidade executada. A pesquisa realizada neste trabalho consiste na análise dos requisitos para a soldagem e das principais características do processo de forma que atendam as condições e requisitos definidos. Este trabalho tem como objetivo geral a proposta de realizar uma pesquisa do conceito de Soldagem em Aço Inox e suas principais características através da exposição de informações claras e objetivas. O estudo bibliográfico foi o método encontrado para disseminar informações e prover o entendimento das informações pertinentes acerca do processo de soldagem dos aços inox em especial do aço austenítico, as principais características, possibilidades de causas e soluções. Determinar expectativas acerca da soldabilidade se torna indefinida ao contar com variáveis de materiais, serviço e sua utilização o que requer muito cuidado na seleção dos consumíveis, no controle da soldagem e na inspeção final. Portanto, não há facilidade na resolução dos defeitos deste processo de soldagem, o profissional deve contar com as possibilidades apresentadas e considerar a experiência de sua indicação para a cada caso adquirir a sua própria experiência.

Palavras-chave: Soldabilidade; Aço Inox; Austenítico.

ABSTRACT

The welding process in stainless steel is one of the most important industrial means mainly in the manufacture and recovery of parts, equipment and structures where the commercialization of stainless steel occurs in the form of pipes, billets and strips. Austenitic stainless steel is a non-magnetic material that usually has a silver finish and high chromium and nickel metal alloys which produces a mirrored finish and makes them more difficult to weld mainly because it has a layer of oxide. During the process of welding in stainless steel defects and failures can occur, which means that the understanding of the process, its requirements and fragilities must be deepened in order to guarantee the quality of weldability performed. The research carried out in this work consists of the analysis of the requirements for welding and the main characteristics of the process so that they meet the conditions and requirements defined. This work has as general objective the proposal to carry out a research on the concept of Welding in Stainless Steel and its main characteristics through the exhibition of clear and objective information. The bibliographic study was the method used to disseminate information and to provide an understanding of the pertinent information about the welding process of stainless steels, in particular austenitic steel, the main characteristics, possibilities of causes and solutions. Determining expectations about weldability becomes indefinite when counting on variables of materials, service and their use, which requires great care in the selection of consumables, welding control and final inspection. Therefore, there is no ease in solving the defects of this welding process, the professional must rely on the possibilities presented and consider the experience of his indication to each case to acquire their own experience.

Keywords: Weldability; Stainless steel; Austenitic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição Química – Principais Elementos	17
Figura 2 - Soldagem SMAW.....	24
Figura 3 - Consumíveis recomendados conforme catálogo da ESAB.....	27
Figura 4 - Recomendações de preparação de chanfros com soldagem por eletrodo revestido.....	29
Figura 5 - Consumíveis Aplicados.....	30
Figura 6 - Tipos de chanfros.....	33
Figura 7 - Tipos de defeitos.....	37
Figura 8 - Tipos de defeitos.....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Formulação do Problema	13
1.2. Objetivo	13
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
1.3. Justificativa	14
1.4. Estrutura do Trabalho.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Principais características do Aço Inox	15
2.1.1 Comercialização.....	16
2.1.2 Características do Material.....	16
2.1.3 Preparação do Material para Soldagem.....	16
2.1.4 Composição Química do Aço Inox	17
2.1.5 Microestrutura do Aço Inox	18
2.1.6 Microestrutura do Aço Inox	18
2.1.7 Aço Inox Austenítico.....	18
2.1.7.1 Tipos de Aço Inox Austenítico.....	19
2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM EM AÇOS INOX.....	20
2.2.1 Processo de Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW ou MMA) .	24
2.2.2 Processo de Soldagem por resistência elétrica (ERW).....	29
2.2.3 Materiais Utilizados	30
2.3 Conceitos de soldabilidade dos aços inox.....	30
3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODO.....	34
3.1 Exemplificação de ocorrência de descontinuidades no processo de soldagem de aços inox	34
3.1.1 Principal utilização do aço inox austenítico	34
3.1.2 Fatores críticos durante a soldagem	34
3.1.3 Principais descontinuidades	35
3.2 Fatores críticos durante a soldagem	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
6 CONCLUSÕES.....	43

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

O processo de Soldagem em aço Inox é um dos meios industriais mais importantes principalmente na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas onde a comercialização do aço inoxidável ocorre em forma de tubos, tarugos e tiras.

O aço inox austenítico é um material não magnético que geralmente possui um acabamento prata e ligas metálicas com alto conteúdo de cromo e níquel o que produz um acabamento espelhado e faz com que sejam mais difíceis de soldagem principalmente por possuir uma camada de óxido.

A camada de óxido precisa ser quebrada por meio de uma escovação a aço ou com uma lixa e removida quimicamente através da utilização ácida para o processo de soldagem.

O passo a passo das etapas que devem ser seguidas neste processo de soldagem precisam ser definidos e padronizados de forma a atender alguns requisitos básicos tais como segurança e qualidade.

Durante a realização do processo de soldagem em aço inox podem ocorrer defeitos e falhas o que faz com que o entendimento do processo, seus requisitos e fragilidades devem ser aprofundados de forma a garantir a qualidade da soldabilidade executada (American Welding Society – AWS, 1996).

A pesquisa realizada neste trabalho consiste na análise dos requisitos para a soldagem e das principais características do processo de forma que atendam as condições e requisitos definidos.

Desta forma, a disseminação de informações aos interessados no conteúdo referente ao processo de soldagem em aços inox brevemente comentados de forma prática exemplificadas através do processo de Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW ou MMA) e Soldagem por Resistência Elétrica (ERW).

1.1. Formulação do Problema

O fornecimento de informações relativas acerca do tema é de grande importância para a indústria, para o trabalhador, para a sociedade e para o País a considerar que esta pesquisa fornece a visão do esclarecimento das informações abordadas.

A capacidade de um material ser transformado em um processo de soldagem requer o conhecimento de todas as suas características e variantes para atender aos requisitos e projeto determinados para a obtenção de sucesso de sua realização e qualidade.

Como a indústria e o profissional de soldagem podem determinar o processo de forma a evitar defeitos e falhas assegurando a sua soldabilidade?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a proposta de realizar uma pesquisa do conceito de Soldagem em Aço Inox e suas principais características através da exposição de informações claras e objetivas.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar as principais características do aço inox austenítico.
- Apresentar os requisitos necessários para a realização do processo de soldagem em aço inox.

- Apresentar as principais características no processo de Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW ou MMA).
- Apresentar as principais características no processo de Soldagem por Resistência Elétrica (ERW).
- Apresentar as principais perspectivas no contexto da soldagem de aços Inox.

1.3. Justificativa

Este trabalho tem a sua importância justificada ao realizar uma pesquisa que apresenta as principais características do processo de soldagem em aço inox disseminando informações que possibilitem seu entendimento e a introdução de ações de melhorias através da aplicação de conceitos de soldabilidade que atendem ao estabelecimento de seus requisitos.

Delimitação do assunto: A pesquisa apresenta as principais características da soldagem em aços inox.

1.4. Estrutura do Trabalho

A dissertação está estruturada em capítulos e subcapítulos.

O capítulo 1 introduz o tema, o problema que motivou a pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a delimitação do assunto e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o processo de soldagem de aço inox onde no Subcapítulo 2.1 trata das principais características dos Aços Inox, no Subcapítulo 2.2 trata das principais características do Processo de Soldagem em Aços Inox e no Subcapítulo 2.3 trata das principais características dos conceitos de soldabilidade dos aços inox.

O capítulo 3 trata da metodologia adotada na pesquisa, apresentando como foi feita a coleta e a obtenção dos dados e como foi conduzida.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões e o capítulo 5 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No contexto diário da humanidade o aço inoxidável se faz presente em uma diversidade de situações quer seja em modernas construções, móveis, equipamentos médicos, acessórios, entre outros, sendo realizada a sua escolha tanto por características mecânicas como por *designs* arquitetônicos (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Essencialmente por ser de utilização diversificada, os profissionais responsáveis pelo projeto e processo devem deter o conhecimento adequado e necessário sobre aço inox de forma a desenvolver o produto e as etapas de sua fabricação o que inclui essencialmente a soldagem otimizando recursos e minimizando falhas e perdas de tempo e material (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Neste capítulo ocorre a abordagem dos aços inox com suas principais características e recomendações para o alcance da soldabilidade.

2.1. Principais características do Aço Inox

Aços inoxidáveis são aços de alta liga que possuem maior capacidade de resistência à corrosão proveniente do alto teor de cromo, normalmente acima de 10% (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A composição química do aço inoxidável associada ao seu processamento termo-mecânico produz alterações em sua estrutura diferenciando suas propriedades e originando diferentes grupos de aço inox adequados para diferentes aplicações e necessidades (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.1.1 Comercialização

A comercialização do aço inoxidável ocorre geralmente em forma de tubos, tarugos e tiras (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.1.2 Características do Material

O Aço Inox se apresenta como um material não magnético e geralmente possuidor de um acabamento prata (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A composição de suas ligas metálicas apresenta alto conteúdo de Níquel ou Crômio o que faz com que sejam muito brilhosas, com um acabamento espelhado, características estas que aumentam a dificuldade do processo de soldagem em consequência da presença de uma camada de óxido muito forte (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.1.3 Preparação do Material para Soldagem

Antes de realizar o processo de soldagem do aço inox, deve ser realizada a preparação do material (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Etapa 1. O material nessa forma requer que a camada de óxido seja retirada utilizando o processo de escovação a aço ou com uma lixa.

Etapa 2. Após deve ser quimicamente removida por um fluxo ácido.

Nota1. As barreiras que as camadas de óxido formam se regeneram muito rápido o que requer que sejam novamente esfregadas, removidas para somente após realizar a soldagem do material rapidamente.

2.1.4 Composição Química do Aço Inox

A composição química do aço inox se caracteriza como um tipo de aço de alta liga que geralmente contém elementos como o ferro (Fe), carbono (C), cromo (Cr), níquel (Ni) e molibdênio (Mo) (Figura 1) (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A presença desses elementos de liga, especialmente o cromo, confere ao aço inox uma excelente resistência à corrosão quando comparados aos demais aços, como por exemplo, ao aço carbono (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O cromo (Cr), combinado com o carbono (C) atua como um poderoso elemento de liga que aumenta a dureza dos aços e sua adição acrescenta as suas propriedades de endurecimento considerando que o cromo aumenta a resistência à corrosão e a resistência do aço a altas temperaturas o caracterizando como o principal elemento de liga dos aços inoxidáveis (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Desta forma, possui pelo menos 10,5% de cromo objetivando uma composição química balanceada para ter uma melhor resistência à corrosão (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O Níquel (Ni) principal propriedade do aço resulta na melhora de sua ductilidade ou sua tenacidade ao entalhe e se torna o mais eficaz dos elementos de liga para melhorar a resistência ao impacto do aço a baixas temperaturas (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A Figura 1 mostra os principais elementos da composição química do aço inox.

%	C	Cr	Ni	Mo
Austeníticos	< 0,25	16,0 - 26,0	8,0 - 40,0	0 - 5,0
Ferríticos	< 0,25	12,0 - 30,0	0 - 5,0	0 - 2,0
Duplex	< 0,15	18,0 - 30,0	4,0 - 10,0	0 - 2,0
Martensíticos	0,1 - 0,3	11,0 - 17,0	0 - 3,0	0 - 2,0

Figura 1 – Composição Química – Principais Elementos.
Fonte: (CAMPOS, 2010 - ESAB).

2.1.5 Tipos de Aço Inox

A família do aço inox se constitui basicamente com distinção pelos austeníticos, ferríticos e martensíticos, porém, existem outras variáveis destes grupos de aços inoxidáveis, como, por exemplo, os aços inoxidáveis duplex que possuem 50% de ferrita e 50% de austenita e os aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A composição química dos tipos de aço inox se assemelham na constituição por ferro misturado a 10,5% de cromo objetivando obter alta durabilidade do material principalmente em relação a outros tipos de metais (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Por fim, a caracterização dos tipos de aço inox adquire muito mais resistência a impactos e mudanças térmicas abruptas (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.1.6 Microestrutura do Aço Inox

Todos os aços se compõem de cristais ou grãos cujo arranjo atômico forma a sua microestrutura que ao ser alterada na exposição de altas temperaturas modifica a composição e as propriedades dos metais (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A classificação das microestruturas dos aços inoxidáveis se divide em dois grupos de elementos de liga, sendo o primeiro os que estabilizam a austenita e o segundo os que estabilizam a ferrita, conforme abaixo: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

Elementos que estabilizam a ferrita: Cr, Si, Mo, Ti e Nb;

Elementos que estabilizam a austenita: Ni, C, N e M.

2.1.7 Aço Inox Austenítico

O aço inox austenítico é essencialmente formado por ferro (Fe), cromo (Cr) e níquel (Ni), composição esta que forma uma liga determinante de mais resistência,

principalmente em temperaturas baixas e à corrosão e esse termo “austenítico” é referente à estrutura cristalina desses aços (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A sua estrutura se apresenta predominantemente austenítica à temperatura ambiente e não pode ser endurecível por tratamento térmico o que faz com que originem o grupo mais utilizado e numeroso de aços inoxidáveis (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Sua composição apresenta geralmente cerca de 16 e 30% de Cr, entre 6 e 26% de Ni e menos de 0,3% de carbono destacando o tipo mais comum: o aço AISI 304 (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Dentre suas principais características apresenta na exposição à temperatura ambiente um baixo limite de escoamento, um limite de resistência elevado e grande ductilidade, se tornam os materiais de melhor soldabilidade e resistência geral à corrosão com possibilidade de aplicação em qualquer área, principalmente na indústria química, alimentícia, de refino de petróleo e em muitas outras (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.1.7.1 Tipos de Aço Inox Austenítico

Os tipos de aço inox caracterizados como austeníticos estão relacionados abaixo: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

Aço 304 – Liga indicada em preferência para a confecção de materiais hospitalares, farmacêuticos, indústrias químicas e petroquímicas devido a sua característica de alta resistência à corrosão.

Aço 304L – Esta é a versão aperfeiçoada do Aço 304 que apresenta como suas principais vantagens a alta resistência em caso de oxidação intercrystalina.

Aço 316 – Esta liga é superior aos dois tipos de aço austeníticos anteriores onde sua principal característica inclui o molibdênio em sua composição.

Aço 316L – Este aço é muito utilizado na indústria se diferenciando dos demais por ser mais resistente, principalmente quando se refere às corrosões intercrystalinas.

Nota1. Sufixo L – baixo teor de carbono.

Sufixo H – alto teor de carbono.

Desta forma, os aços inoxidáveis são aços de alta liga considerados como um grupo de aços, caros e para uso específico com teor de elementos de liga ultrapassantes a 10%, resultantes em propriedades químicas e mecânicas excepcionais (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Os aços austeníticos ao manganês assim são denominados por conter altos teores de carbono e manganês considerados dois excepcionais atributos que favorecem a capacidade de endurecer sob trabalho a frio e por possuir grande tenacidade (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Devido aos altos teores de elementos de liga se tornam necessários cuidados e práticas especiais neste processo de soldagem (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM EM AÇOS INOX

De acordo com a American Welding Society (AWS) o processo de soldagem pode ser definido como o processo de união ou junção de materiais usado para obter esta união (coalescência) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura definida, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Muitos processos são utilizados para a soldagem dos aços inox, porém, três são os mais aplicados: SMAW, GTAW e GMAW, onde o primeiro geralmente é aplicado em serviços em geral, particularmente no campo e em diferentes posições;

o segundo em sua amplitude é utilizado na soldagem de peças de aço inoxidável de menor espessura e, o terceiro, mais utilizado para juntas mais espessas, sendo um processo de maior produtividade (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Aços inoxidáveis podem ser considerados como ligeiramente mais difíceis de soldar que diversos outros tipos de aços a considerar que as dificuldades que surgem variam de forma importante conforme o tipo de aço e sua aplicação (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Dentre as características fundamentais na soldagem de aços inoxidáveis esta essencialmente a sua necessidade de limpeza de modo a minimizar contaminações que deteriorem a sua resistência à corrosão e os devidos cuidados com a forma do cordão considerando a sua importância devido que a ocorrência de suas irregularidades superficiais podem se tornar pontos de acúmulo de sujeira e início de corrosão (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

As diferenças de propriedades físicas dos aços inoxidáveis resultam na diferenciação dos procedimentos de soldagem dentre as quais se destacam: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

- a. Menor temperatura de fusão.
- b. Menor condutividade térmica.
- c. Maior coeficiente de expansão térmica.
- d. Maior resistência elétrica.

Em relação aos aços austeníticos no processo de soldagem se tornam simples em todos os tipos com exceção dos aços com adição de enxofre para usinagem fácil (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Os aços austeníticos apresentam coeficiente de expansão térmica maior referente acerca de 45% para a obtenção de maior resistência elétrica e menor condutividade térmica que em comparação, por exemplo, dos aços doces (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Considerando tais características, nos aços com teor de carbono superior a 0,06%, geralmente ocorre a precipitação de carbonetos nos contornos de grão da ZTA

durante o ciclo térmico de soldagem o que resulta em prejuízo a resistência à corrosão (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Este problema e os referentes a distorção podem ser minimizados com a realização do processo de soldagem com uma maior velocidade de deslocamento (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Decorrente à exposição a menor temperatura de fusão e a sua menor condução de calor a soldagem deste aço requer usualmente a utilização de uma corrente menor que a usada em comparação, por exemplo, aos aços doces (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Decorrente de um maior coeficiente de expansão térmica aumenta a tendência à distorção na soldagem destes aços o que direciona à necessidade de adoção de técnicas para a sua redução (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Para a soldagem em chapas finas devem ser utilizados dispositivos de fixação e um ponteamto realizado com muito cuidado e, dependendo se sua composição química possuir maior quantidade de elementos gamagênicos, o metal de solda pode atingir a solidificação com uma estrutura completamente austenítica (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Quando durante o processo de soldagem ocorre estas condições a ocorrência ao aparecimento de trincas durante a solidificação é muito provável (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Para a minimização deste problema deve ser realizada a seleção dos consumíveis onde o metal de adição possibilite uma estrutura austeno-ferrítica na solidificação e resulte em cerca de 4 a 10% de ferrita na solda à temperatura ambiente (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Se não houver esta possibilidade e o processo ocorrer, por exemplo, em condições que requerem a necessidade de uma estrutura completamente austenítica na solda, ou seja, em ambientes altamente corrosivos ou em aplicações criogênicas, devem ser utilizados eletrodos com baixos teores de enxofre e fósforo e uma elevada relação Mn/S (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Acrescido a estas condições juntamente deve ser aplicado um procedimento de soldagem que minimize o nível de tensões na solda (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O consumível cujo metal de adição é o próprio aço inoxidável, principalmente se este for austenítico, se torna comum na aplicação dos processos de soldagem de outros tipos de aços ou mesmo na união de aços inoxidáveis com outros aços e na fabricação de revestimentos protetores contra a corrosão ou contra diversos tipos de desgaste (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

De acordo com a combinação do metal de base e dos consumíveis utilizados surgem problemas onde os principais, ou sejam, os quem mais se destacam são: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

1. Solidificação com uma estrutura completamente austenítica com uma elevada sensibilidade à formação de trincas durante a solidificação ou por perda de ductilidade acima de 1250°C;
2. Aços com elevado teor de elementos de liga levando à formação de fases intermetálicas após aquecimento entre cerca de 450 e 900°C e, com isto, à sua fragilização;
3. Aços com estrutura ferrítica capaz de sofrer um grande crescimento de grão na ZTA e ZF, sendo, desta forma, fragilizados;
4. Aços de elevada temperabilidade com a formação de martensita na ZTA e ZF causando fragilização e fissuração pelo hidrogênio e por formação de martensita.

Quando ocorre a coexistência da ferrita e austenita forma uma pequena área triangular que não sofre a ocorrência de nenhum dos problemas indicados o que faz a recomendação usual de que a aplicação dos consumíveis de aço inoxidáveis austeníticos foram desenvolvidos para que após a diluição com o metal base forneça uma solda cuja composição química resulte nesta área triangular (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O processo de soldagem em aços inox é realizado para a obtenção da junção de duas partes metálicas diferentes através dos métodos de soldagem de inox caracterizados como soldagem a arco de plasma, arco gasoso com arame contínuo, arco submerso, arco com eletrodo de alma fundente, soldagem a laser, arco com

eletrodo revestido e soldagem por resistência elétrica (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Neste capítulo o estudo aborda os dois últimos em consequência de sua maior utilização na indústria.

2.2.1 Processo de Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW ou MMA)

a. Soldagem a Arco com Eletrodo Resvestido (SMAW)

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido denominado de *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) ou comumente conhecida como soldagem manual a arco elétrico é o processo de soldagem mais utilizado na indústria (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A seguir seguem a descrição das principais etapas do processo de soldagem SMAW: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

Etapa1. A soldagem é realizada utilizando o calor de um arco elétrico que ocorre e se mantém entre a extremidade de um eletrodo metálico revestido e o componente a ser soldado.

A Figura 2 demonstra o procedimento da Etapa 1.

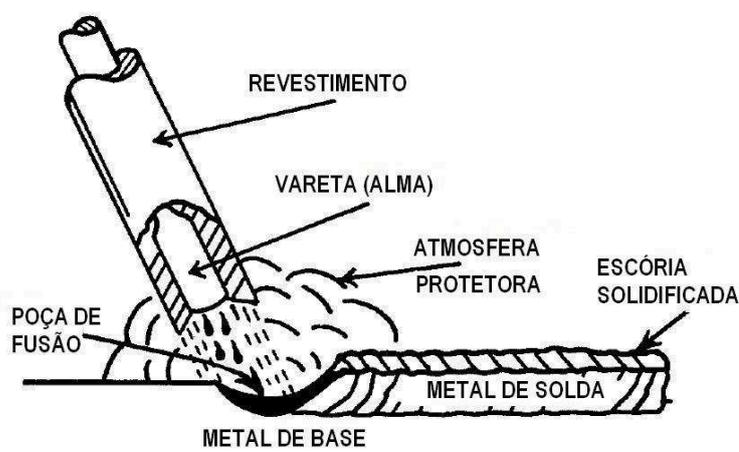


Figura 2 – Soldagem SMAW.
Fonte: (FORTES, 2005 - ESAB).

Etapa2. O calor produzido pelo arco realiza a fundição do metal de base, da alma do eletrodo e do revestimento.

Nota1. A transferência das gotas de metal fundido através do arco para a poça de fusão ocorre contando com a proteção da atmosfera causada pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento.

Nota2. A escória líquida flutua em direção à superfície da poça de fusão atuando como proteção do metal de solda da atmosfera durante a solidificação.

Nota3. Como outras funções do revestimento inclui proporcionar estabilidade ao arco e controlar a forma do cordão de solda.

Principais Vantagens. Durante este processo ocorre a produção de soldas com acabamento de primeira, diminuição do aquecimento do componente e eliminação dos indesejados respingos e, contribui com grande versatilidade, baixo custo de operação, simplicidade dos equipamentos necessários e possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou sujeitos a ventos.

Principais Desvantagens. Este método de soldagem pode ser comprometido se houver a presença de corrente de ar e apresentar baixa produtividade, requer cuidados especiais que são necessários no tratamento e manuseio dos eletrodos revestidos e produz grande volume de gases e fumos gerados durante a soldagem.

b) Escolha e Seleção dos Consumíveis

A Figura 3 indica como escolher os consumíveis para os aços inoxidáveis que em resumo são ligas Ferro-Cromo com, no mínimo, 12% Cr que lhe confere resistência à corrosão em contato com ar atmosférico ou outros meios oxidantes (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

As adições de Níquel e outros elementos como o Molibdênio, Nióbio e Titânio são comuns nesse grupo de ligas visando realizar a alteração da estrutura e propriedades (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

ELETRODO OK®	METAL DEPOSITADO	APLICAÇÕES	PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS	POSIÇÕES SOLDAGEM	TENSÃO/ TIPO CORR.	DIÂM. (mm)	COMPR. (mm)	FAIXA DE CORRENTE (A)
OK® 61.25* básico ASME SFA 5.4 E308H-15	C 0,07 Si 0,50 Mn 1,50 Cr 19,00 Ni 10,00 Mo <0,50 Cu <0,50	Eletrodo revestido básico especialmente desenvolvido para aplicações em alta temperatura em indústrias químicas e petroquímicas.	L.R. 600 MPa L.E. 430 MPa A 45% Ch V (20 °C) 95 J Teor de Ferrita FN 2-5		23 - 24 V CC+	2,5 3,25 4	300 350 350	60 - 90 80 - 120 120 - 170
OK® 61.30 rutílico ASME SFA 5.4 E308L-17	C 0,03 Si 0,80 Mn 0,80 Cr 19,60 Ni 9,90	Deposita aço inox, tipo 19/10 com baixíssimo teor de carbono; soldagem de aços com análise similar; também usado em aços endurecidos ao ar, aços ferríticos e martensíticos, etc; resistente à corrosão intergranular. TAMBÉM ATENDE OS REQUISITOS PARA A CLASSIFICAÇÃO E308-17. HOMOLOGAÇÃO: FBTS.	L.R. 560-600 MPa A 38-42% Teor de Ferrita FN 3-10		27 - 33 V CA ≥ 52 V CC+	1,6 2 2,5 3,25 4 5	300 300 300 350 350 350	35 - 50 45 - 65 60 - 90 80 - 120 120 - 170 150 - 240
OK® 61.84 rutílico ASME SFA 5.4 E347-17	C 0,03 Si 0,63 Mn 0,86 Cr 19,30 Ni 9,35 Mo 0,20 Nb 0,44	Deposita aço inox, tipo 19/10 estabilizado ao nióbio; indicado para a soldagem de aços do mesmo tipo estabilizados ao titânio ou nióbio, principalmente quando a construção soldada trabalhar em elevadas temperaturas; sensível à corrosão sulfúrica em altas temperaturas. HOMOLOGAÇÃO: FBTS, ABS, BV, DNV.	L.R. 600-650 MPa A 31-33% Teor de Ferrita FN 6-12		20 - 30 V CA ≥ 70 V CC+	2 2,5 3,25 4	300 300 350 350	50 - 70 65 - 105 100 - 140 140 - 170
OK® 63.30 rutílico ASME SFA 5.4 E316L-17	C 0,03 Si 0,70 Mn 0,70 Cr 18,70 Ni 11,70 Mo 2,70	Deposita aço inox, tipo 19/12 Mo com baixíssimo teor de carbono/ soldagem de aços com análise similar; também usado em aços estabilizados não sujeitos a ataque corrosivo muito severo; resistente à corrosão intergranular. TAMBÉM ATENDE OS REQUISITOS PARA A CLASSIFICAÇÃO E316-17. HOMOLOGAÇÃO: FBTS, ABS, BV, DNV.	L.R. 550-600 MPa A 33-38% Teor de Ferrita FN 3-10		28 - 34 V CA ≥ 52 V CC+	1,6 2 2,5 3,25 4 5	300 300 300 350 350 350	35 - 50 45 - 65 60 - 90 80 - 125 120 - 175 150 - 240
OK® 67.15 básico ASME SFA 5.4 E310-15	C 0,10 Si 0,25 Mn 1,65 Cr 25,60 Ni 20,90	Deposita aço inox, tipo 25/20; soldagem de aços com análise similar; também usado em aços de soldabilidade limitada e na junção de materiais diversos, por ex. aço inox ao aço comum; sensível à corrosão sulfúrica em altas temperaturas. HOMOLOGAÇÃO: FBTS.	L.R. 550-590 MPa A 30-32% Teor de Ferrita FN 0		20 - 27 V CC+	2,5 3,25 4 5	300 350 350 350	55 - 85 85 - 125 110 - 160 150 - 220
OK® 67.16 rutílico ASME SFA 5.4 E310-16	C 0,14 Si 0,76 Mn 1,74 Cr 26,00 Ni 20,00 Mo 0,18	Eletrodo de aço inoxidável para soldagem dos aços do tipo 25/20. Também se recomenda para a soldagem de aços de difícil soldabilidade, soldagem de aços austeníticos ao manganês e para a união de aços dissimilares. Este eletrodo deposita um metal muito resistente à fissuração a quente.	L.R. 650-700 MPa A 31-33% Teor de Ferrita FN 0		21 - 28 V CC+	3,25 4	350 350	80 - 120 105 - 160
OK® 67.42 rutílico ASME SFA 5.4 E307-26	C 0,06 Si 0,65 Mn 3,90 Cr 20,00 Ni 10,00 Mo 0,80	Deposita aço inox, tipo 19/9 Mn, soldagem de aços de soldabilidade limitada, principalmente aços ao manganês Hadfield; também na produção e na manutenção de equipamentos de terraplenagem e mineração, no revestimento de ferramentas para trabalho a quente, válvulas e peças em aço carbono e baixa liga resistentes ao desgaste. Indicado para restauração de turbinas sujeitas à cavitação. SINTÉTICO-ALTÍSSIMO RENDIMENTO.	L.R. 580-620 MPa A 40-45% Teor de Ferrita FN 0		19 - 24 V CA ≥ 70 V CC+	3,25 4 5	350 450 450	100 - 185 150 - 220 180 - 320

ELETRODO OK®	METAL DEPOSITADO	APLICAÇÕES	PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS	POSIÇÕES SOLDAGEM	TENSÃO/ TIPO CORR.	DIÂM. (mm)	COMPR. (mm)	FAIXA DE CORRENTE (A)
OK® 67.45 básico EN 1600 E 18 8 Mn B 4 2 ASME SFA 5.4 E307-15 (aprox.)	C 0,07 Si 0,25 Mn 6,95 Cr 18,10 Ni 9,45	Deposita aço inox, tipo 19/9 Mn; soldagem de aços de soldabilidade limitada, por ex. aços ao manganês Hadfield, aços ligados sujeitos a tratamento térmico também na produção e manutenção de equipamentos de terraplenagem e mineração, no revestimento de ferramentas para trabalho a quente, válvulas e peças em aço carbono resistentes ao desgaste; indicado para restauração de turbinas sujeitas à cavitação.	L.R. 600-620 MPa A 40-45% Teor de Ferrita FN < 5		20 - 26 V CC+	3,25 4 5	350 350 350	80 - 110 110 - 150 150 - 200
OK® 67.50 rutílico EN 1600 E 22 9 3 N L R 3 2 ASME SFA 5.4 E2209-17	C 0,025 Si 0,7 Mn 0,9 Cr 22,3 Ni 9,5 Mo 3,0 Cu 0,10 N 0,16	Eletrodo revestido rutílico destinado à soldagem de aços inoxidáveis ferrítico-austeníticos, como por exemplo o UNS S31803. Destaca-se em aplicações especiais, como a soldagem de tanques e tubos com alta resistência à corrosão sob tensão, em temperaturas até 300 °C, fabricados em aço inoxidável duplex. HOMOLOGAÇÕES: ABS, BV, DNV, GL.	L.R. 820 MPa L.E. 680 MPa A 25% Ch V (+20 °C) 50 J Teor de Ferrita FN 25-40		27 - 31 V CA ≥ 60 V CC+	2 2,5 3,25 4	300 300 350 350	30 - 65 50 - 90 80 - 120 100 - 160
OK® 67.55 básico EN ISO 3581-A E 22 9 3 N L R 22 ASME SFA 5.4 E2209-15	C 0,03 Si 0,50 Mn 0,90 Cr 22,50 Ni 9,30 Mo 3,00 N 0,15	Eletrodo revestido básico, desenvolvido para a soldagem de aços inoxidáveis duplex, como por exemplo o UNS S31803. O metal de solda depositado apresenta elevada ductilidade a temperaturas tão baixas quanto que -50 °C e - 60 °C . Indicado para a soldagem de tubos duplex em aplicações Offshore . HOMOLOGAÇÕES: DNV.	L.R. 800 Mpa L.E. 650 Mpa A 28% ChV (+20 °C) 100 J ChV (-20 °C) 85 J ChV (-40 °C) 75 J ChV (-60 °C) 65 J Teor de Ferrita FN 35-50		20 - 26 V CC+	2,5 3,25 4	300 350 350	50 - 80 60 - 100 100 - 140
OK® 67.61 rutílico ASME SFA 5.4 E309L-17	C 0,03 Si 0,85 Mn 1,03 Cr 23,66 Ni 12,26 Mo 0,19	Eletrodo de aço inoxidável com elevado teor de liga, destinado a soldagem de aços dissimilares e inoxidáveis com composições similares. O OK® 67.61 possui excelentes características operacionais em todas as posições, exceto na vertical descendente, tanto em CA como em CC. TAMBÉM ATENDE OS REQUISITOS PARA A CLASSIFICAÇÃO E309-17. HOMOLOGAÇÃO: FBTS, BV, DNV.	L.R. 700-750 MPa A 31-33% Teor de Ferrita FN 10 - 22		28 - 31 V CA ≥ 70 V CC+	2,5 3,25 4	300 350 350	50 - 90 90 - 120 140 - 160
OK® 67.74 rutílico ASME SFA 5.4 E309MoL-17	C 0,03 Si 0,80 Mn 0,70 Cr 23,00 Ni 12,30 Mo 2,60	Eletrodo de aço inoxidável com com um elevado teor de liga, destinado à execução de camadas almofada, quando se soldam aços revestidos resistentes aos ácidos e aço inoxidável a outros tipos de aços. O OK® 67.74 possui características operacionais excepcionais, quer em CA como em CC. Este eletrodo pode ser utilizado em todas as posições, exceto na vertical descendente. TAMBÉM ATENDE OS REQUISITOS PARA A CLASSIFICAÇÃO E309 MO-17.	L.R. 700-750 MPa A 31-33% Teor de Ferrita FN 12 - 22		27 - 30 V CA ≥ 70 V CC+	2,5 3,25 4	300 350 350	60 - 90 80 - 125 140 - 160
OK® 67.75 básico ASME SFA 5.4 E309-15	C 0,05 Si 0,30 Mn 1,70 Cr 24,45 Ni 13,10 Mo 0,25	Deposita aço inox, tipo 23/12 o qual, considerando-se uma diluição de até 20% do metal base não ligado, proporciona um passe com análise aprox. do tipo 18/10; soldagem da zona de transição em chapas revestidas com aço inox; também na união de aço inox. ao aço não ligado ou de baixa liga.	L.R. 600-630 MPa A 30-38% Teor de Ferrita FN 12 - 22		21 - 27 V CC+	2,5 3,25 4	300 350 350	50 - 80 80 - 110 100 - 150
OK® 68.53 rutílico ASME SFA-5.4 E2594-16 EN ISO 3581-A E 25 9 4 N L R 3 2	C 0,03 Si 0,60 Mn 0,80 Cr 25,20 Ni 9,80 Mo 4,00 N 0,25	Eletrodo revestido rutílico para a soldagem de aços austenítico-ferrítico do tipo "Super Duplex", como por exemplo o SAF 2507 e Zeron 100. O OK® 68.53 possui boas características operatórias em todas as posições, exceto na vertical descendente, e fácil remoção de escória. HOMOLOGAÇÕES: DNV.	L.R. 850 MPa L.E. 700 MPa A 30% ChV (+20 °C) 50 J ChV (-40 °C) 40 J Teor de Ferrita FN 35-50		20 - 25 V CA ≥ 60 V CC+	2,5 3,25 4	300 350 350	55 - 85 70 - 110 110 - 150

Figura 3 – Consumíveis recomendados conforme catálogo da ESAB.
Fonte: (ESAB, 2013).

Requisitos para a fonte de energia. A soldagem ocorre normalmente com tensões mais baixas do que em comparação, por exemplo, dos aços carbono de mesma espessura.

Faixa de Corrente. A soldagem na maior parte das vezes ocorre dentro da faixa de corrente 50-100 A.

A corrente mais elevada empregada em eletrodos de diâmetro 5 mm é de cerca de 200 A e, em eletrodos sintéticos, de 300 A até 330 A.

A soldagem de passes de raiz em chanfros para soldagem unilateral e em peças de aço inoxidável de espessuras variando entre 1 mm e 3 mm requer uma fonte de soldagem com ajuste preciso entre 30 A e 125 A para melhor desempenho de soldagem sem descontinuidades.

Corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC). A maioria das soldas em aços inoxidáveis é executada com corrente contínua (CC), provavelmente devido à possibilidade de um melhor ajuste de fontes de energia em CC.

Desta forma, os eletrodos inoxidáveis de formulação antiga apresentavam melhor desempenho e geram menos respingos com CC do que com CA.

A maioria dos eletrodos de aço inoxidável rutilico permite atualmente o uso de CA.

Se torna possível identificar que alguns eletrodos mostram um desempenho um pouco melhor em CA como, por exemplo, o eletrodo sintético OK 67.42.

Porém, os eletrodos inoxidáveis relacionados como soldáveis a uma tensão em vazio na faixa 50-60 V possuem desempenho muito bom em CA.

Preparação de biséis. A preparação de biséis normalmente realizada para os aços de baixo carbono é a utilizada para os aços inoxidáveis, onde, o ângulo normal do bisel é de 30° e o ângulo do chanfro é de 60°.

A diferença na preparação entre ambos ocorre nos chanfros em duplo V empregados a partir de peças com espessura 12 mm para minimizar o volume de solda e o rechupe nos aços inoxidáveis a considerar que nos aços de baixo carbono, chanfros em duplo V não são normalmente empregados em espessuras menores que 15-20 mm (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A Figura 4 demonstra algumas das recomendações de preparação de chanfros para a soldagem de aços inoxidáveis com eletrodos.

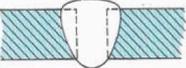
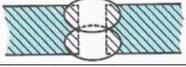
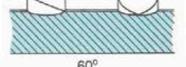
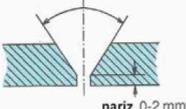
Chanfros recomendados		Espessura (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
chanfro reto		1-3	0-2	unilateral
chanfro reto		2-3	0-2	ambos os lados
chanfro para revestimento interno		1-3	6-10	dois ou três passes
chanfro em V		3-12	1-3	um ou ambos os lados

Figura 4 – Recomendações de preparação de chanfros com soldagem por eletrodo revestido.
Fonte: (ESAB, 2013).

2.2.2 Processo de Soldagem por resistência elétrica (ERW)

Como principais características no processo de soldagem por resistência elétrica a junção entre os elementos metálicos ocorre devido ao aquecimento em joules onde a passagem da corrente elétrica é a fonte responsável pela geração de calor (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A fusão ocorre somente após aplicada a pressão exercida pelos eletrodos até ao ponto definido (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Como principais vantagens este processo de soldagem possibilita a soldagem de chapas bem finas, maior facilidade na operação e mais rapidez no processo (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Como principais desvantagens pode se tornar mais cara em relação aos outros tipos de soldagem pois requer manutenções regulares e conforme for a utilização da energia elétrica durante o procedimento (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

2.2.3 Materiais Utilizados

A Figura 5 mostra a tabela de consumíveis aplicados de acordo com o material de base e de acordo com o processo de soldagem.

Corresponde ASME II Part C		SFA-A5.4/SFA-5.4	SFA-A5.22/SFA-5.22M	SFA-A5.9/SFA-5.9M	SFA-A5.9/SFA-5.9M	SFA-A5.9/SFA-5.9M	
Metal de Base (AISI/UNS/ASTM)		SMAW (MMA)	FCAW (ARAME TUBULAR)	GTAW (TIG)	GMAW (MIG)	SAW (ARCO SUBMERSO)	
Resistente a Corrosão	18Cr 8Ni	308L	OK 61.30	Shield-Bright 308L	OK Tigrod 308L	OK Autrod 308LSi	OK Flux 10.93 + OK Autrod 308L
	23Cr 12Ni	309L	OK 67.61	Shield-Bright 309L	OK Tigrod 309L	OK Autrod 309LSi	OK Flux 10.93 + OK Autrod 309L
	18Cr 10Ni 3Mo	316L	OK 63.30	Shield-Bright 316L	OK Tigrod 316L	OK Autrod 316 LSi	OK Flux 10.93 + OK Autrod 316L
	19Cr 9Ni 3Mo	317L	OK 64.30BR	Shield-Bright 317L	OK Tigrod 317L	OK Autrod 317 L	
	18Cr 10Ni + Nb	347	OK 61.84	Shield-Bright 347	OK Tigrod 347	OK Autrod 347Si	OK Flux 10.93 + OK Autrod 347
	20Cr 25Ni 5Mo CuNL	904L	OK 69.33		OK Tigrod 385	OK Autrod 385	OK Flux 10.93 + OK Autrod 385
	22Cr 5Ni 3Mo	2205		OK Tubrod 14.27	OK Tigrod 2209	OK Autrod 2209	
	22Cr 5Ni 3Mo	2507	OK 68.53	OK Tubrod 14.28	OK Tigrod 2509	OK Autrod 2509	
Resistente ao Calor	25Cr 4Ni	327	OK 68.55	OK Tubrod 14.28	OK Tigrod 2509	OK Autrod 2509	OK Flux 10.93 + OK Autrod 2509
	22Cr 12Ni	309	OK 67.73	Shield-Bright 309H	OK Tigrod 309	OK Autrod 309	OK Flux 10.93 + OK Autrod 309
	25Cr 20Ni	310	OK 67.15 / OK 67.16		OK Tigrod 310	OK Autrod 310	OK Autrod 310 + OK Flux 10.93

Figura 5 – Consumíveis Aplicados.
Fonte: (CAMPOS, 2010 - ESAB).

2.3 Conceitos de soldabilidade dos aços inox

Para obter o processo de soldagem com eficácia e qualidade alguns requisitos são essenciais: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

1. Cumprir devidamente os procedimentos de segurança determinados no processo.
2. Utilizar material de adição com composição química o mais próximo possível do material a ser soldado.
3. Evitar a ocorrência de poças de fusão muito grandes para evitar trincas de solidificação na solda.

4. As juntas devem ser limpas, utilizando o processo de escovamento, esmerilhamento ou decapagem química por Álcool isopropílico ou acetona.
5. Utilizar apenas escovas e picadeiras de aço inox.

Na soldagem de passes de raiz e de enchimento em juntas de topo com chanfro é realizada seguindo o mesmo procedimento de soldagem de aços de baixo carbono, porém com algumas exceções significativas destacadas a seguir: (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013)

- . o aporte térmico deve ser o mais baixo possível, principalmente na soldagem de aços inoxidáveis que não apresentem teores de carbono extra-baixos considerando que um baixo aporte térmico minimiza o risco de baixa resistência à corrosão na ZTA e também a distorção causada pelas tensões de contração e, um aporte térmico excessivo causará uma distorção maior no aço inoxidável do que no aço de baixo carbono;

- . a soldagem de aços inoxidáveis de grande espessura com eletrodos sintéticos traz mais benefícios para a resistência à corrosão porque fornecem um aporte térmico menor ao metal de base do que eletrodos com alma ligada e, considerando que no caso de menos passes serem necessários para preencher chanfros com os eletrodos sintéticos, as distorções de contração são menores do que a soldagem com eletrodos de alma ligada;

- . grandes poças de fusão devem ser evitadas para que não facilitem a formação de trincas de solidificação no metal de solda;

- . o esmerilhamento durante a contra-solda deve ser realizado com muito cuidado porque um pequeno superaquecimento da superfície pode facilmente causar trincas de esmerilhamento;

- . as superfícies goivadas devem ser esmerilhadas para livrar o metal da borra resultante da goivagem, que pode causar baixa qualidade da solda o que representa que com o revestimento com aço inoxidável consistente na soldagem de aços dissimilares, cada um desses materiais deve ser soldado com um eletrodo similar, são normalmente necessários chanfros com geometria especial.

O aço empregado como substrato é normalmente soldado primeiro, e o projeto da junta deve garantir que nenhum passe de solda de aço carbono exerça penetração no revestimento (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A soldagem do substrato pode ser executada de forma unilateral ou por ambos os lados, dependendo das condições, onde, as juntas do substrato com acesso por ambos os lados devem preferencialmente ser em duplo U assimétrico ou duplo V assimétrico com a parte menor do chanfro localizada no lado revestido para fins de limitação da largura da solda inoxidável.

A utilização da técnica de almofadamento é um método que emprega os eletrodos de menor custo, porém a maioria das juntas dissimilares entre aços inoxidáveis e outros aços é soldada com eletrodos inoxidáveis de alta liga (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Desta forma, cordões de solda filetados são recomendados para a minimização da diluição do metal de base no metal de solda, principalmente onde o depósito é feito na transição com o aço de menor teor de liga (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

A soldagem entre um aço inoxidável e um aço ao cromo-molibdênio resistente à fluência para trabalho acima de 200 °C deve ser preferencialmente realizada com um eletrodo à base de níquel para evitar a migração de carbono do aço resistente à fluência para o material austenítico considerando que esse processo no aço Cr-Mo diminui sua resistência à fluência (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O uso de eletrodo à base de níquel também minimiza os problemas da dilatação térmica de materiais dissimilares (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O aço do substrato deve ser soldado de preferência com eletrodos de baixo hidrogênio bem secos com um teor total de água no revestimento sem exceder 0,30% cuja importância impacta para os passes próximos ao revestimento, pois, se o teor de água for maior, talvez seja necessário um pré-aquecimento e um aumento na temperatura entre passes em cerca de 100°C para evitar trincas induzidas pelo hidrogênio na zona mais diluída do primeiro passe com o eletrodo inoxidável (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O revestimento de aço inoxidável não pode ser fundido com eletrodos de aço de baixa liga ou de baixo carbono (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

Se a preparação do chanfro do lado revestido for realizada por goivagem com eletrodo de carvão, as superfícies do chanfro devem ser esmerilhadas para remover a borra, que pode prejudicar a qualidade da solda (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

O revestimento deve ser soldado com eletrodos similares ao metal de base utilizando eletrodos de diâmetro 2,5 mm ou 3,2 mm e a aplicação da técnica de cordões filetados, direcionando o arco elétrico para o cordão anteriormente depositado e, onde for possível, minimizando a diluição da solda mantendo o arco na poça de fusão à medida que se avança com a solda (Figura 6) (MACHADO, 1980; FORTES, 2005; CAMPOS, 2010; NOVAIS, 2010; ESAB, 2013).

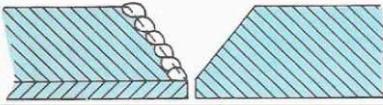
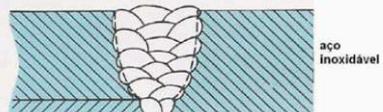
Tipos de chanfros		Espessura (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
chanfro em V		até 10	0-3	veja as notas abaixo
o almofadamento clássico entre uma chapa revestida e uma chapa de aço inoxidável. o bisel da chapa revestida é almofadado com os eletrodos OK 67.73, OK 67.74, OK 67.75, OK 67.15 OU OK 67.16.				
todos os tipos de chanfro		todas	0-3	veja as notas abaixo
A junta de topo mais empregada entre uma chapa revestida e uma chapa de aço inoxidável para todos os tipos de chanfro. A junta é soldada com cordões filetados, empregando os eletrodos OK 67.73, OK 67.74 ou OK 67.75.				

Figura 6 – Tipos de chanfros.

Fonte: (CAMPOS, 2010 - ESAB).

3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODO

Neste capítulo ocorre uma breve descrição acerca das principais descontinuidades no processo de soldagem do aço inox, suas principais possibilidades de causas e de como evitar a sua ocorrência.

3.1 Exemplificação de ocorrência de descontinuidades no processo de soldagem de aços inox

3.1.1 Principal utilização do aço inox austenítico

Na indústria os aços inoxidáveis austeníticos são os de maior utilização devido à sua característica de elevada resistência à corrosão, mesmo apresentando maior custo que os demais aços inoxidáveis.

Dentre suas principais aplicações incluem as indústrias química, alimentícia e geração de energia principalmente para equipamentos de Trocadores de calor, Vasos de pressão e Tubulações.

3.1.2 Fatores críticos durante a soldagem

1. Precipitação de carbonetos

Para evitar a precipitação de carbonetos se torna necessário ter alguns cuidados no processo de soldagem dentre os quais incluem:

- a. não realizar pré-aquecimento;
- b. soldar em velocidades mais altas;
- c. usar consumíveis com menor teor de P e S e maior relação Mn/S.
- d. quando possível, selecionar metal de adição que possibilite uma estrutura austeno-ferrítica na solidificação para que não haja formação de trincas a quente.

2. Limpeza

A soldagem de aços inoxidáveis requer uma limpeza especial tanto da junta a ser soldada como do local da soldagem, porém alguns cuidados devem ser considerados:

- a. para fins de evitar a contaminação não se deve utilizar as mesmas ferramentas empregadas para a limpeza de aços carbono;
- b. não se deve soldar aços inoxidáveis no mesmo local de soldagem de aços carbono.

3.1.3 Principais descontinuidades

Durante o processo de soldagem as resultantes são processamentos químicos que podem gerar algumas descontinuidades dentre as quais as principais são:

- . trincas de solidificação ou trincas a quente.
- . trincas induzidas por hidrogênio no metal de solda.
- . porosidade.
- . inclusões de escória ou outras inclusões.
- . trincas de cratera.
- . falta de fusão.
- . perfil do cordão desfavorável.

3.2 Método de Trabalho

O método de trabalho utilizado nesta pesquisa pode ser caracterizado como "Bibliográfico" utilizando de pesquisa bibliográfica para a coleta e análise de dados retirados de acervos bibliográficos acadêmicos e científicos.

O estudo bibliográfico foi o método encontrado para disseminar informações e prover o entendimento das informações pertinentes acerca do processo de soldagem dos aços inox em especial do aço austenítico, as principais características, possibilidades de causas e soluções.

A pesquisa foi de caráter exploratório de forma a buscar em uma diversidade específica de publicações o entendimento dos procedimentos pertinentes por meio de abordagem qualitativa e método de abordagem hipotético-dedutivo.

Os métodos utilizados determinados como teórico científicos objetivam o entendimento de princípios e procedimentos utilizados em projetos e pesquisas anteriores, verificando assim as informações disseminadas utilizando os autores mais relevantes sobre o tema.

A caráter descritivo da pesquisa foi realizada a seleção das informações, sua análise e interpretação com objetivo de caráter descritivo e observação sistemática.

Desta forma se fez possível concluir que pesquisa em sua relevância foi realizada a partir da utilização e entendimento dos procedimentos pertinentes de caráter científico abordando as práticas que compreendem o procedimento e os mecanismos pertinentes existentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a definição de sua utilização os aços inox austeníticos possibilitam a preferência de sua escolha ao considerar a necessidade de atender as suas principais características referentes a resistência à corrosão, boa tenacidade a baixas temperaturas e a resistência a altas temperaturas.

A Figura 7 demonstra uma relação dos principais tipos de defeitos na soldagem, suas possíveis causas e soluções pertinentes.

Problema	Causa Possível	Solução
Porosidade	Gás de proteção insuficiente ou excessivo	Verificar o fluxo de gás recomendado
	Extensão do eletrodo excessiva	Reduzir a extensão do eletrodo (veja a Tabela IX até a Tabela XI nas páginas 42 e 43)
	Bocal muito curto	Substituir o bocal
	Impurezas e condições das peças	Remover as substâncias não metálicas
	Falha no equipamento de controle de fluxo de gás	Verificar quanto a vazamentos e entrada de ar
Alimentação de arame deficiente	Diâmetro incorreto do bico de contato	Verificar e substituir o bico de contato
	Conduíte ou bico de contato danificados	Substituir o conduíte ou o bico de contato
	Tipo, dimensões ou pressão incorretos dos roletes	Veja o manual do equipamento
	Freios excessivamente acionados	Verificar o tensionamento e aliviar se necessário
	Conduíte bloqueado	Remover a obstrução ou substituir o conduíte
Inclusões de escória	Técnica de soldagem inadequada	Veja o Capítulo 8
	Direcionamento da tocha ("puxando" ou "empurrando")	Veja o Capítulo 8
Mordedura	Velocidade de soldagem muito alta	Reduzir a velocidade de soldagem ou verificar os parâmetros de soldagem
	Ângulo da tocha incorreto	Veja o Capítulo 8
	Tensão do arco muito alta	Reduzir a tensão do arco
Falta de penetração	Corrente muito baixa	Aumentar a corrente
	Extensão do eletrodo muito longa para a corrente aplicada	Veja o item Extensão do eletrodo na página 30
	Velocidade de soldagem inconsistente ou incorreta	Ajustar a velocidade de soldagem para adequá-la à penetração
	Ângulo da tocha ou direção de soldagem	Veja o Capítulo 8
	Abertura insuficiente na raiz	Modificar a preparação das peças e a montagem
	Nariz muito grande	Modificar a preparação das peças
Falta de fusão	Direção e velocidade de soldagem	Veja o Capítulo 8
	Ângulo da tocha incorreto	Veja o Capítulo 8
	Parâmetros incorretos ou manipulação incorreta da tocha	Verificar os parâmetros recomendados para o arame tubular OK Tubrod® em questão e as observações sobre a manipulação da tocha (veja o Capítulo 8)
Respingo excessivo	Peças sujas	Limpar as peças com escova ou lixadeira
	Tensão do arco muito alta comparativamente à corrente	Verificar quanto aos valores recomendados
	Pressão do gás de proteção muito alta	Verificar quanto aos valores recomendados (veja o item Vazão do gás de proteção na página 32)
	Corrente falhando ou irregular	Verificar o diâmetro do bico de contato ou substituí-lo se estiver desgastado
Trincas	Escolha errada do arame para o metal de base	Substituir pelo arame adequado
	Pré-aquecimento requerido e não sendo aplicado	Pré-aquecer as peças à temperatura adequada
	Trincas por tensões devido a procedimento impróprio	Modificar o procedimento
	Sequência inadequada de cordões	Soldar os cordões do centro da junta para a parte mais aberta
	Aporte térmico muito alto	Reduzir o aporte térmico
	Restrição excessiva da junta	Reduzir as restrições da junta

Figura 7 – Tipos de defeitos.

Fonte: (CAMPOS, 2010 - ESAB).

Arco Instável	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Em CC, sopro magnético desloca o arco da direção do eletrodo.	1a - Neutralize o sopro magnético inclinando o eletrodo. Se a corrente de retorno curto-circuitar através da solda, coloque um pedaço de madeira ou algum outro material isolante sob uma das extremidades da peça a soldar. 1b - Modifique a posição da garra do cabo de retorno. 1c - Evite ou modifique a posição de objetos facilmente magnetizáveis. 1d - Use cobre, alumínio ou grafite como cobrejunta de apoio para a solda. 1e - Mude para CA (use um transformador).
2 - Alma do eletrodo excêntrica em relação ao revestimento. O eletrodo tem, portanto, uma tendência a fundir obliquamente.	2a - Gire o eletrodo para eliminar os efeitos perturbadores da parte excêntrica. 2b - Use um novo eletrodo.
Respingos Abundantes	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Corrente muito alta.	1 - Diminua a corrente.
2 - Arco muito longo.	2 - Encurte o arco.
3 - Sopro magnético.	3 - Veja "arco instável".
4 - Peça de trabalho suja.	4 - Limpe a peça de trabalho.
5 - Eletrodo úmido.	5a - Seque o eletrodo. 5b - Use um novo eletrodo.
6 - Eletrodo de qualidade inferior.	6 - Use um eletrodo de melhor qualidade.
Na soldagem de cobre, zinco ou alumínio	
7 - Peça de trabalho muito fria.	7 - Pré-aqueça a peça.
8 - Eletrodo muito inclinado.	8a - Mantenha o eletrodo no ângulo correto com a peça de trabalho. 8b - Encurte o arco.
Empenamento	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Forma deficiente de construção.	1 - Torne-a apropriada para soldagem.
2 - Superaquecimento (especialmente o caso da deformação longitudinal em material fino).	2a - Diminua a corrente, e/ou minimize a seção transversal da solda. Use um cobre-junta de apoio que seja apto a retirar o calor de forma eficiente. 2b - Aumente a velocidade de avanço.
3 - Falta de calor.	3 - Aumente a seção transversal da solda (para cada passe): a) usando eletrodos mais grossos; b) aumentando a quantidade de metal depositado; c) soldando em vertical ascendente.
4 - Sequência de soldagem não apropriada.	4 - Tente depositar os passes seguindo uma sequência mais adequada.
5 - Rigidez muito baixa.	5 - Use gabaritos - possivelmente até pré-deformação, contrária à direção do empenamento.
Soldas Irregulares	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Corrente inadequada.	1 - Ajuste a corrente de máquina, aumentando ou diminuindo.
2 - Em CC, polaridade errada.	2 - Verifique a especificação do eletrodo e inverta a polaridade da máquina de solda.
3 - Eletrodo muito úmido.	3a - Seque o eletrodo. 3b - Use um novo eletrodo.
4 - Eletrodo de qualidade inferior.	4 - Use um eletrodo de melhor qualidade.
5 - Manejo incorreto do eletrodo.	5 - Aprenda a soldar! Lembre-se: a prática faz a perfeição.

Raízes Defeituosas	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Defeitos de raiz nas juntas em X ou sob o repasse de raiz.	1a - Use um eletrodo de grande penetração para soldar o repasse de raiz. 1b - Solde o repasse de raiz em vertical ascendente. 1c - Desbaste a raiz para tomar a fresta mais aberta e depois solde o repasse de raiz.
2 - Defeitos de raiz em soldas de um só passe.	2 - Defeitos de raiz em soldas de um só passe. 2a - Use um cobre-junta de apoio em cobre, alumínio, grafite ou similar. 2b - Use um anel de apoio, suporte, ou coloque a peça sobre um gabarito. 2c - Adapte diâmetro do eletrodo, chanfro, nariz e fresta, de modo a corresponder ao relacionamento entre eles. 2d - Tente aumentar a fresta. 2e - Solde em vertical ascendente. 2f - Treine o manejo; experimente diferentes ângulos e velocidades de avanço; isto lhe dará bons passes de raiz.
Inclusões de Escória	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Corrente muito baixa.	1 - Aumente a corrente.
2 - Manejo incorreto do eletrodo.	2 - Movimente o eletrodo de forma tal a impedir que a escória passe à frente da poça de fusão.
3 - Chanframento irregular.	3- Quando chanfrar, utilize: a) marteleto pneumáticos; b) corte oxigás com avanço automático; c) maçarico para corte manual, porém com carrinho-guia e muito cuidado, para obter uma superfície de corte isenta de defeitos.
4 - Chanfro muito estreito.	4 - Aumente o ângulo de chanfro.
5 - Limpeza de escória não adequada.	5 - Destaque toda a escória, meticulosamente, entre cada passe.
6 - Raiz mal preparada.	6a - Prepare a raiz até que o metal surja completamente são, antes de realizar o repasse. 6b - Use um eletrodo de grande penetração para o repasse de raiz.
7 - Eletrodos de qualidade inferior.	7 - Use um eletrodo de melhor qualidade.
Falta de Penetração	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Falha no manejo do eletrodo.	1 - Dirija o arco de modo a que ambas as chapas sejam apropriadamente aquecidas, especialmente onde a penetração tende a ser imperfeita.
2 - Corrente muito baixa.	2 - Aumente a corrente.
3 - Diâmetro insuficiente do eletrodo.	3a - Para material espesso, use diâmetros maiores. 3b - Solde em vertical ascendente.
4 - Peça de trabalho muito fria.	4a - Pré-aqueça a peça. 4b - Solde em vertical ascendente.
5 - Preparação incorreta da peça.	5 - Prepare a junta convenientemente, com ângulo de chanfro, nariz e fresta recomendáveis ao caso.
Mordeduras	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Corrente muito alta.	1 - Diminua a corrente.
2 - Arco muito longo.	2 - Encurte o arco.
3 - Manejo incorreto do eletrodo.	3 - O eletrodo deverá ser manejado de forma tal que a fusão seja feita somente nos pontos onde o material é depositado.
4 - Avanço muito rápido.	4 - Avance mais devagar.
5 - Arco sopra lateralmente.	5 - Veja "Arco Instável".
6 - Eletrodo úmido.	6a - Seque o eletrodo. 6b - Use um novo eletrodo.
7 - Junta muito estreita.	7 - Alargue o ângulo do chanfro (abertura do entalhe e diâmetro do eletrodo devem ser relacionados entre si).

Soldas Porosas	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Velocidade de soldagem muito alta.	1 - Avance mais lentamente.
2 - Em CC, polaridade errada.	2 - Inverta as ligações nos terminais da máquina de solda.
3 - Corrente inadequada.	3 - Ajuste a corrente na máquina, aumentando ou diminuindo.
4 - Arco muito longo.	4 - Encurte o arco.
5 - Material de base impuro.	5 - Se o material de base contém teores elevados de impurezas, tais como enxofre e fósforo, use eletrodos de tipo básico.
6 - Chapas sujas.	6 - Limpe a superfície das chapas.
7 - Material de base segregado.	7 - Rejeite as chapas
8 - Eletrodos úmidos (especialmente os de tipo básico).	8a - Seque o eletrodo. 8b - Use um novo eletrodo.
9 - Poros na cratera final.	9 - Seja cuidadoso quando interromper o arco; utilize a técnica correta.
10 - Eletrodos de qualidade inferior.	10 - Use um eletrodo de melhor qualidade.
Fragilidade do Cordão	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Tipo errado de eletrodo.	1a - Use um eletrodo de tipo básico. 1b - Use um eletrodo inoxidável, que deposite um cordão com estrutura austenítica.
2 - Tratamento térmico inadequado.	2a - Pré-aqueça a peça. 2b - Retarde o resfriamento. 2c - Use tratamento térmico após a soldagem.
3 - Têmpera ao ar do metal depositado.	3 - Use um eletrodo que deposite um cordão com estrutura austenítica.
4 - Elemento de liga abandona o material de base.	4a - Use um eletrodo de tipo básico de baixa liga. 4b - Evite penetração desnecessária, deixando o arco movimentar-se sobre a poça de fusão.
5 - Chapas sujas.	5 - Limpe a superfície das chapas.
6 - Eletrodos úmidos.	6a - Seque o eletrodo. 6b - Use um novo eletrodo.
Trincas	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Tipo errado de eletrodo.	1 - Tente um eletrodo de tipo básico.
2 - Material de base de má soldabilidade.	2 - Evite materiais de base que não sejam soldáveis com o equipamento disponível.
3 - Perfil da solda inadequado.	3 - Atente a que o primeiro passe tenha seção transversal suficientemente robusta através de: a) aumento da quantidade de metal depositado; b) soldagem vertical descendente; c) utilização do maior diâmetro possível do eletrodo.
4 - Arco muito longo.	4 - Encurte o arco.
5 - Cratera final da solda com mau acabamento.	5 - Retome um pouco com o eletrodo para dentro da cratera final antes de extinguir o arco e deixe-o apagar-se sobre o passe recém executado.
6 - Montagem muito rígida.	6a - Escolha uma seqüência de soldagem que acarrete as menores tensões possíveis no metal de solda. 6b - Aqueça (ou a alternativa: resfrie) e controle a distribuição do calor na peça de trabalho. 6c - Aperfeiçoe a construção.
7 - Resfriamento muito rápido.	7a - Pré-aqueça a peça. 7b - Aumente sempre a quantidade de calor adicionado se a seção transversal da solda é muito grande.
8 - Chapas sujas.	8 - Limpe a superfície das chapas.
9 - Vibrações.	9 - Nunca solde uma peça que esteja sofrendo simultaneamente trabalho com ferramentas pneumáticas similares.

Soldas Porosas	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Velocidade de soldagem muito alta.	1 - Avance mais lentamente.
2 - Em CC, polaridade errada.	2 - Inverta as ligações nos terminais da máquina de solda.
3 - Corrente inadequada.	3 - Ajuste a corrente na máquina, aumentando ou diminuindo.
4 - Arco muito longo.	4 - Encurte o arco.
5 - Material de base impuro.	5 - Se o material de base contém teores elevados de impurezas, tais como enxofre e fósforo, use eletrodos de tipo básico.
6 - Chapas sujas.	6 - Limpe a superfície das chapas.
7 - Material de base segregado.	7 - Rejeite as chapas.
8 - Eletrodos úmidos (especialmente os de tipo básico).	8a - Seque o eletrodo. 8b - Use um novo eletrodo.
9 - Poros na cratera final.	9 - Seja cuidadoso quando interromper o arco; utilize a técnica correta.
10 - Eletrodos de qualidade inferior.	10 - Use um eletrodo de melhor qualidade.
Fragilidade do Cordão	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Tipo errado de eletrodo.	1a - Use um eletrodo de tipo básico. 1b - Use um eletrodo inoxidável, que deposite um cordão com estrutura austenítica.
2 - Tratamento térmico inadequado.	2a - Pré-aqueça a peça. 2b - Retarde o resfriamento. 2c - Use tratamento térmico após a soldagem.
3 - Têmpera ao ar do metal depositado.	3 - Use um eletrodo que deposite um cordão com estrutura austenítica.
4 - Elemento de liga abandona o material de base.	4a - Use um eletrodo de tipo básico de baixa liga. 4b - Evite penetração desnecessária, deixando o arco movimentar-se sobre a poça de fusão.
5 - Chapas sujas.	5 - Limpe a superfície das chapas.
6 - Eletrodos úmidos.	6a - Seque o eletrodo. 6b - Use um novo eletrodo.
Trincas	
Possíveis causas	Possíveis soluções
1 - Tipo errado de eletrodo.	1 - Tente um eletrodo de tipo básico.
2 - Material de base de má soldabilidade.	2 - Evite materiais de base que não sejam soldáveis com o equipamento disponível.
3 - Perfil da solda inadequado.	3 - Atente a que o primeiro passe tenha seção transversal suficientemente robusta através de: a) aumento da quantidade de metal depositado; b) soldagem vertical descendente; c) utilização do maior diâmetro possível do eletrodo.
4 - Arco muito longo.	4 - Encurte o arco.
5 - Cratera final da solda com mau acabamento.	5 - Retome um pouco com o eletrodo para dentro da cratera final antes de extinguir o arco e deixe-o apagar-se sobre o passe recém executado.
6 - Montagem muito rígida.	6a - Escolha uma seqüência de soldagem que acarrete as menores tensões possíveis no metal de solda. 6b - Aqueça (ou a alternativa: resfrie) e controle a distribuição do calor na peça de trabalho. 6c - Aperfeiçoe a construção.
7 - Resfriamento muito rápido.	7a - Pré-aqueça a peça. 7b - Aumente sempre a quantidade de calor adicionado se a seção transversal da solda é muito grande.
8 - Chapas sujas.	8 - Limpe a superfície das chapas.
9 - Vibrações.	9 - Nunca solde uma peça que esteja sofrendo simultaneamente trabalho com ferramentas pneumáticas similares.

Figura 8 – Tipos de defeitos.

Fonte: (CAMPOS, 2010 - ESAB).

A Figura 8 demonstra os principais tipos de defeitos, possíveis causas e soluções.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aços inoxidáveis austeníticos em função de suas características passa a constituir o grupo mais numeroso e utilizado pelas indústrias em sua diversidade considerando que:

- . Não são temperáveis, ou sejam, não são endurecíveis por tratamento térmico.
- . Possuem a temperatura ambiente abaixo do limite de escoamento.
- . Possuem alto limite de resistência e elevada.
- . Possuem maior ductilidade.
- . Possuem melhor soldabilidade.
- . Possuem maior resistência à corrosão.

A seguir apresentam-se as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros na área do tema abordado.

6 CONCLUSÕES

A soldagem de aços inoxidáveis se tornou um dos processos mais utilizado na indústria possibilitando a fusão de dois elementos metálicos com utilização reduzida de corrente elétrica e, conseqüentemente, por calor.

Nos processos de soldagem mais utilizados a realização é de forma manual utilizando consumíveis apropriados nas estruturas metálicas de forma precisa e planejada.

A complexidade do processo faz com que apesar de determinar um padrão geral cada desenvolvimento tenha um desempenho considerando a diversidade de variáveis, porém uma determinação geral de possibilidades faz com que se reduza a margem de tentativas eliminando as condições não pertinentes ao processo.

As condições de soldagem se defrontam com a imperfeição dos metais de base e os detalhes de suas particularidades muitas vezes acrescidos da poça de fusão introduzindo hidrogênio na zona termicamente afetada.

Este processo, portanto, se torna com efeito de alta potencialidade de defeitos com comportamento em determinados materiais aversos as expectativas de soldabilidade.

Determinar expectativas acerca da soldabilidade se torna indefinida ao contar com variáveis de materiais, serviço e sua utilização o que requer muito cuidado na seleção dos consumíveis, no controle da soldagem e na inspeção final.

Portanto, não há facilidade na resolução dos defeitos deste processo de soldagem, o profissional deve contar com as possibilidades apresentadas e considerar a experiência de sua indicação para a cada caso adquirir a sua própria experiência.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho foi realizado para disseminar informações acerca do processo de soldagem de aços inox como contribuição no acervo científico e para consulta das possibilidades de ocorrência de defeitos no processo contribuindo para a redução dos defeitos, de tempo e, portanto, de custos da empresa e, ainda de suas expectativas de soldabilidade.

A sugestão de trabalhos futuros envolve a partir destas premissas considerar se a prática das possibilidades apresentadas se fortalece e se concretiza e, a partir de novos relatos, incluir novos casos que possam vir a surgir.

Ainda, a experiência de aplicação bibliográfica das possibilidades de soldagem do aço inox registradas neste trabalho, foram baseadas em experiências coletadas por outros profissionais e podem, portanto, ser utilizadas por outros setores e por outras empresas.

REFERÊNCIAS

AWS, Welding Handbook, **Materials and Applications** – Part 1, American Welding Society, 8a Edição, Vol. 3, 1996.

AWS, Welding Handbook, **Materials and Applications** – Part 2, American Welding Society, 8a Edição, Vol. 4, 1998.

ASM, Metals Handbook – **Welding and Brazing, American Society for Metals**, 8a Edição, Vol. 6, 1971.

CAMPOS, Halinson Faustino Dias. **Técnicas de Soldagem aplicadas à Indústria de Petróleo e Gás**: Introdução aos Materiais Aplicados no Segmento de Petróleo e Gás. ESAB S.A. Indústria e Comércio. Segmento de Óleo e Gás, maio de 2010.

ESAB. **Catálogo de Consumíveis**. Eletrodos Revestidos OK. ESAB S.A. Indústria e Comércio. Segmento de Óleo e Gás, Novembro de 2013.

FORTES, Cleber; ARAÚJO, Welerson. **Metalurgia da Soldagem**. ESAB BR S.A. Assistência Técnica de Consumíveis – Desenvolvimento e Pesquisa. Segmento de Óleo e Gás. Apostila. Maio de 2005.

MACHADO, I.G; KISS, J.F. **Mecanismo e natureza das trincas de solidificação nas soldas**, partes I e II, Tecnologia de Soldagem. Associação Brasileira de Soldagem, São Paulo, 1980.

NOVAIS, Paulo Rogerio Santos de. **Avaliação das principais descontinuidades encontradas nas juntas soldadas, causas e possíveis soluções**. Contribuição técnica nº9. ABCM – Associação Brasileira de Construção Mecânica, 2010.