

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Engenharia Metalúrgica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Soldagem

Carla Júnia de Barros Aires

**ESTUDO SOBRE TENSÕES E DISTORÇÕES PÓS PROCESSO DE SOLDAGEM,
FABRICAÇÃO DE VIGA CAIXÃO**

Belo Horizonte

2024

Carla Júnia de Barros Aires

**ESTUDO SOBRE TENSÕES E DISTORÇÕES PÓS PROCESSO DE SOLDAGEM,
FABRICAÇÃO DE VIGA CAIXÃO**

Monografia apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
Soldagem da Universidade Federal de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro de
Soldagem

Orientador: Ariel Rodriguez Arias

Belo Horizonte

2024

A298e

Aires, Carla Júnia de Barros.

Estudo sobre tensões e distorções pós processo de soldagem, fabricação de viga caixão [recurso eletrônico] / Carla Júnia de Barros Aires. - 2024.

1 recurso online (42 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Ariel Rodriguez Arias.

"Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais"

Bibliografia: f. 41-42.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Soldagem. 2. Processos de fabricação. 3. Tensões residuais. 4. Vigas. I. Arias, Ariel Rodríguez. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação
Curso de Especialização em Soldagem



ATA 01º/2024 DA DEFESA DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

No dia 17 de maio de 2024, às 09:00 h, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

Título: ESTUDO SOBRE TENSÕES E DISTORÇÕES PÓS PROCESSO DE SOLDAGEM, FABRICAÇÃO DE VIGA CAIXÃO

Aluna: CARLA JÚNIA DE BARROS AIRES – Matrícula: 2021662190

Local: Remotamente via plataforma "TEAMS".

Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 30 minutos e após ter argüido o(a) candidato(a) por 30 minutos, é de parecer Favorável à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 90 e sem (com ou sem) sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de N/A dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias.

Assinaturas:

Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias
DEMEC/UFMG – Orientador

Adauto de Paula Eler
Prontomec Industrial Ltda - Avaliador

Frederico Ohara Cruz Oliveira
Prontomec Industrial Ltda - Avaliador

Aluna: Carla Júnia De Barros Aires

RESUMO

Esse trabalho tem como proposta apresentar estudos e processos para fabricação de uma estrutura soldada, com o propósito de mitigar distorções provocadas pelo processo de soldagem. Durante o processo de soldagem de um componente, existem fenômenos mecânicos inerentes ao processo, que precisam ser controlados com o propósito de garantir qualidade e eficiência aos componentes. Durante o processo de soldagem, as contrações que ocorrem devido ao aporte de calor e aplicação de um material de adição fundido, faz com que tenhamos tensões residuais que precisam ser consideradas e mesmo tratadas ao longo do processo. Com o propósito de garantir as tolerâncias de projeto necessárias para que o componente fabricado performe, utilizamos algumas sequencia ou alternativas. Nesse trabalho evidenciamos soluções encontradas e aplicadas ao processo de fabricação de uma viga caixão, que compõem um dispositivo de içamento.

Palavras-chave: viga caixão; distorções; tensão residual.

ABSTRACT

This work aims to present studies and processes for manufacturing a welded structure, with the purpose of mitigating distortions caused by the welding process. During the welding process of a component, there are mechanical phenomena inherent to the process, which need to be controlled in order to guarantee quality and efficiency of the components. During the welding process, the contractions that occur due to the input of heat and the application of a molten filler material, cause residual stresses that need to be considered and even treated throughout the process. In order to guarantee the design tolerances necessary for the manufactured component to perform, we use some sequences or alternatives. In this work we highlight solutions found and applied to the manufacturing process of a box beam, which makes up a lifting device.

Keywords: box beam; distortions; residual voltage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espessuras disponíveis.....	30
---------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista C.....	10
Figura 2: Desenho esquemático.....	10
Figura 3: Processo de soldagem por fios fluxados com proteção gasosa.....	15
Figura 4: Processo de soldagem por fios fluxados autoprottegidos	15
Figura 5: Equipamento básico para a soldagem com fios fluxados.....	16
Figura 6: Representação esquemática da soldagem por fusão	18
Figura 7: Comparação entre as principais técnicas de medição de tensões residuais	20
Figura 8: Flexão de uma barra de metal retangular	21
Figura 9: Utilização de um menor número de passes ou cordões.....	22
Figura 10: Evitar o depósito excessivo de material	22
Figura 11: Utilização de cordões alternados	23
Figura 12: Preparação correta.....	23
Figura 13: Aplicação de um passe Ré.....	23
Figura 14: Montagem das peças, fora da posição.....	24
Figura 15: Separação das peças para equilíbrio da contração	24
Figura 16: Curvamento oposto a solda	24
Figura 17: Equilíbrio das forças.....	25
Figura 18: Classificação dos processos de fabricação.....	25
Figura 19: Desenho 3D – Dispositivo para Remoção de Cone	26
Figura 20: Desenho de detalhe de fabricação.....	28
Figura 21: Lista de detalhamento	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.2 Objetivo	11
2 SOLDAGEM E SUAS CARACTERÍSTICAS	12
2.1 O processo de solda fcaw (flux cored arc welding) ou arame tubular	14
2.1.1 Processo Protegido	14
2.1.2 Processo Autoprottegido	15
3 ABORDAGEM DA TENSÃO RESIDUAL E DISTORÇÕES DURANTE PROCESSO DE SOLDAGEM	17
4 FABRICAÇÃO VIGA CAIXÃO	25
4.1 PRINCIPAIS MEDIDAS DA VIGA E COMPOSIÇÃO	27
4.2 Fabricação subconjuntos: laterais de fechamento; (posições 1.1, 1.3, 1.4, 1.5, 1.10 e 1.11.)	33
4.3 FABRICAÇÃO 2º SUBCONJUNTO: MONTAGEM ALMA NAS TAMPAS DA VIGA (POSIÇÕES 1.2, 1.8 E 1.6).....	34
4.4 SUBCONJUNTO – MONTAGEM DOS SUB CONJUNTOS 1 E 2 E DEMAIS POSIÇÕES DE FECHAMENTO. (1.7 E 1.9).....	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
6 REFERÊNCIAS	41

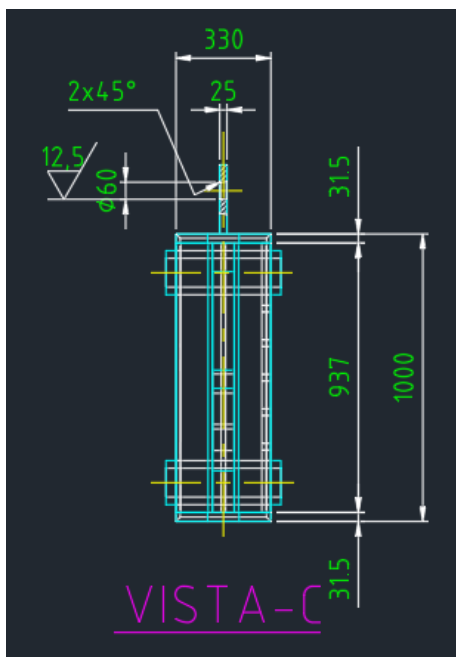
1 INTRODUÇÃO

A Soldagem é o método mais utilizado para fabricação de componentes metálicos, devido a sua versatilidade e seu custo teoricamente baixo. Esse método vem se aprimorando e tornando-se não apenas uma etapa da fabricação como soluções para fabricação e reparos de muitas estruturas ou peças. Existem processos de soldagem a frio e a quente, que são chamados de processos por fusão, será essa solda por fusão que iremos analisar, em específico o processo FCAW – *Flux Cored Arc Welding*, e entender suas vantagens e desvantagens para a as fabricações de estruturas metálicas.

A descrição de um processo de Soldagem é complexa pois deve-se analisar diversos parâmetros, temos três momentos essenciais que são: térmico, transformação de fases e fenômenos mecânicos. Um desses fenômenos mecânicos será o objeto desse trabalho, que são as tensões residuais e distorções, suas consequências e suas tratativas. Essas tensões residuais e distorções muitas vezes são tratadas como produto normal do processo de soldagem, mas de acordo com o desempenho da peça fabricada deve-se considerar todas as forças que a mesma exercerá e avaliar se tais tensões não serão prejudiciais ao trabalho que a peça ou equipamento executará.

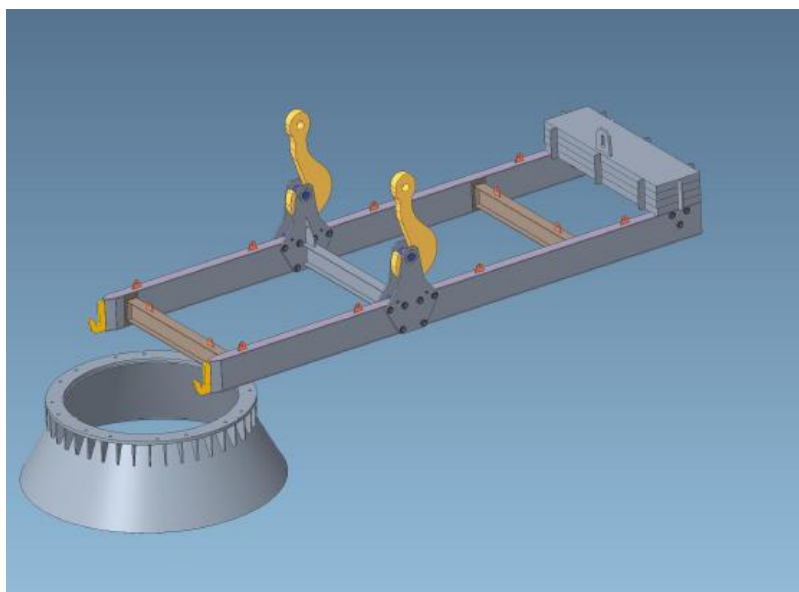
O objeto de estudo desse trabalho é uma estrutura fabricada pelo processo de solda FCAW, que compõem um dispositivo de remoção. Por ser um componente que executa grande movimentação, esse tipo de estrutura tem suas complexidades e é uma fabricação de responsabilidade, com controles e qualificações de solda criteriosos, uma vez que movimentam cargas pesadas, perigosas e com relativa altura, devido as particularidades da estrutura a fabricação precisa ser controlada.

A viga possui 6.770 mm de comprimento e é uma viga caixão, fabricada em chapas ASTM A 572 Gr 50, espessura de 31,5 mm que compõem tampa e fundo da viga, chapas laterais de 16 mm, além de uma alma de reforço de espessura de 16 mm. Medidas finais ilustrada da figura1, conforme a desenho fornecido pelo cliente.

Figura 1: Vista C

Fonte: Objeto de estudo (2024)

A principal dificuldade nessa fabricação é manter os alinhamentos e evitar as distorções gerados devido ao processo de soldagem. A estrutura ainda receberá a montagem por solda de um gancho fabricado em ASTM A 572 Gr 50 de 75 mm de espessura, que será soldado à alma da viga caixão, buchas usinadas com furo \varnothing 100H8 que serão usinados em conjunto com outras estruturas, conforme desenho esquemático ilustrado na figura 2.

Figura 2: Desenho esquemático

Fonte: Autoria própria (2024)

O projeto de pesquisa será desenvolvido através da revisão literária e análise de caso. Os materiais utilizados como referencial teórico foram publicados nas últimas duas décadas, e o cunho do texto a ser desenvolvido será descritivo e qualitativo embasado em autores renomados e novos pesquisadores. O caso específico que iremos estudar é a Fabricação de Viga Caixão, projeto enviado pelo cliente e executado em uma Indústria Metalmeccânica. A metodologia empregada na elaboração da presente pesquisa será descritiva, e exemplificada, orientada por palavras chave, tais como: Processos de Soldagem, metalografia, fabricação de estruturas, tensão residuais pós processos de soldagem, tratamentos térmicos, alívios de tensão.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é comentar todo processo de fabricação de uma viga soldada, partindo de um projeto já validado, iremos passar pela análise de fabricação, qualificação do processo de solda, EPS – Especificação de Procedimento de Solda e RQPS – Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem utilizados, comentar como as tensões residuais e distorções em estruturas soldadas podem afetar a performance da estrutura ou equipamentos construídos por esse processo de junção e como durante o processo de fabricação podemos utilizar técnicas para mitigar esses fenômenos mecânicos.

Temos como objeto de estudo a fabricação de uma viga caixão, que uma viga que compõem um equipamento de movimentação e elevação de carga, com alta capacidade e elevado ciclo de trabalho, cuja as características de trabalho envolvem altas e constantes tensões.

Será descrito o processo de Solda por fusão FCAW, conceituado e explicado como acontecem as tensões residuais e distorções de fabricação por soldagens; demonstrar em um caso prático maneiras encontradas para mitigar tais processos.

2 SOLDAGEM E SUAS CARACTERÍSTICAS

A Soldagem é o processo mais utilizado para a união permanente de aços e suas ligas. Por ser de um processo confiável, duradouro, versátil e relativamente econômico, quando comparado com outros tipos de união, tais como parafusos e ou rebites, que além de não serem permanentes, elevam o custo da fabricação uma vez que a material base deverá ser furado, perdendo cerca de 10% de seção, que deverá ser compensada na espessura da chapa (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2009), existem mais de 50 diferentes processos de soldagem que são utilizados na indústria e é o mais importante processo de união permanente entre metais, sua importância é evidenciada na presença do processo em diferentes atividades industriais e na influência que a necessidade de uma boa soldabilidade, capacidade que um material possui em ser soldado, tem no desenvolvimento e aprimoramento de novas ligas metálicas.

Os processos de soldagem podem ser divididos em dois grupos: Processo de Soldagem por pressão ou deformação e Soldagem por fusão, esse grupo possuiu ainda subgrupos, conforme o tipo de fonte de energia usado para fundir as peças. O Processo mais utilizando na Indústria hoje é o processo que utiliza arco elétrico, devido a tendência de reação do material fundido com os gases da atmosfera, a maioria dos processos de soldagem por fusão utiliza algum meio de proteção para minimizar estas reações (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

Conforme Wainer, Brandi e Mello (1992), segue alguns processos de Soldagem por Fusão que utilizam arco elétrico, temos:

- GMAW ou MIG/MAG: é um processo por arco-elétrico onde temos uma máquina ligada a uma força elétrica, que é responsável pela geração de calor, possuímos ainda um consumível, que é o material que será adicionado ao material base e temos a utilização de gases ou misturas gasosas que exercerão a função de proteger o processo de fusão da liga aplicada.
- FCAW ou Arame Tubular: é um processo semelhante ao GMAW (MIG/MAG) tanto pelos equipamentos utilizados, quanto aos princípios de funcionamento, principal diferença está no eletrodo, que é composto de um fluxo recheando um

tubo. Podemos trabalhar com um gás para proteção de poça ou trabalhar com um arame auto protegido.

- SMAW ou Eletrodo Revestido: Uma máquina ligada a uma corrente elétrica conectada a uma vareta com metal base e revestimento (consumível), um metal base, que será unido. A Proteção da poça nesse processo é feita pelo Revestimento.
- GTAW ou TIG – Nesse processo não temos a necessidade de utilização de um consumível, temos uma vareta, normalmente de tungstênio, (para aguentar elevadas temperaturas), e a fusão é feita com o próprio matéria base, que é derretido e faz a união.
- SAW ou Arco Submerso - O Arco elétrico é estabelecido entre o arame-eletrodo e o material a ser soldado, com a diferença que o arco permanece totalmente submerso em uma camada de fluxo, não sendo visível. A solda se desenvolve em faíscas, luminosidades e respingos.
- Plasma – É a extensão do processo de solda TIG, onde a coluna de arco elétrico sofre uma constrição, obtida fazendo o arco passar através de um orifício de diâmetro reduzido e de parede fina (cobre refrigerado a água).

Como a Soldagem é um processo de fusão de um consumível, ou do metal base, temos o emprego de grande energia despendida nesse processo, que é convertida em calor, devido a movimentação de elétrons, que é permanente. No caso do Arco Elétrico se caracteriza pela passagem significativa de corrente elétrica por um material normalmente não condutivo, como o ar, movimentando-se a altas velocidades (aproximadamente 100 m/s). Os arcos elétricos produzem calor intenso, podendo alcançar 20.000 °C, causam explosões, ondas de pressão, entre outros efeitos, O fenômeno do arco elétrico é usado, sob controle, nos processos de solda elétrica, corte plasma, forno para produção de aço e até em lâmpadas fluorescentes (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

De acordo com Wainer, Brandi e Mello (1992), para termos ideia da participação do elétron no processo de aquecimento, temos que saber que na colisão de um elétron com um átomo de hélio 0,06 % de energia acumulada do mesmo é transferida para o átomo, o que faz ter um aquecimento de 0,001° C por colisão. Se imaginarmos que estamos falando é um átomo, imagine nisso em uma cadeia repleta de átomo.

2.1 O processo de solda fcaw (flux cored arc welding) ou arame tubular

O Processo FCAW é um dos processos de soldagem por fusão mais comuns aplicados em aços carbono e baixa liga, ele une os benefícios dos três principais processos de solda por fusão, GMAW, SMAW e SAW, sua alta produtividade faz com que ele seja o um dos processos mais utilizados na indústria Metalmeccânica para construção e fabricação de estruturas e componentes.

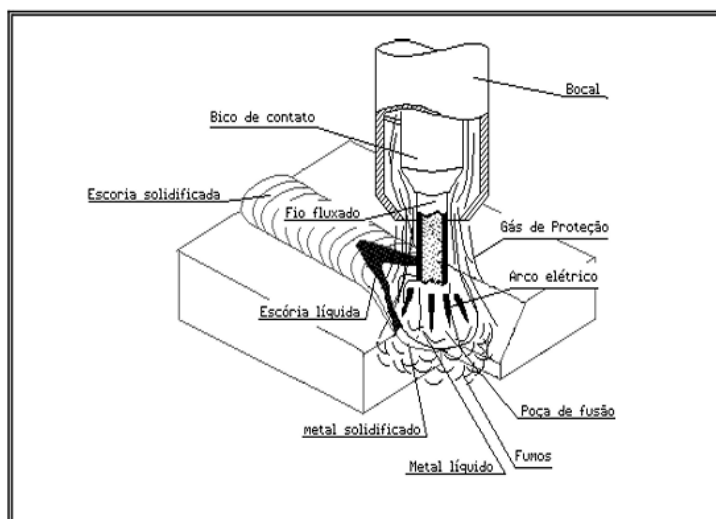
Surgiu por volta dos anos 50 e na década seguinte surgiu o arame tubular autoprotetido e pode ser definido como um processo de solda por fusão onde temos calor fornecido por um arco elétrico entre a peça e um fio alimentando continuamente. Se assemelha ao processo GMAW (MIG/MAG), e o que difere é que utilizamos um consumível tubular que possui em seu interior um fluxo composto por materiais inorgânicos e metálicos que executam várias funções tais quais, melhora do arco elétrico, transferência do metal de solda, proteção da poça de fusão e adição de elementos de liga (em alguns casos).

2.1.1 Processo Protegido

O processo protegido é onde existe a adição de um gás inerte ou mistura onde teremos o uma proteção gasosa para a poça de fusão a fim de evitar a contaminação atmosférica.

Esse processo com proteção gasosa o fluxo quando queimado e vaporizado gera a estabilização do arco elétrico e participa ativamente nas características do metal depositado, entretanto, não é suficiente para gerar proteção gasosa para toda poça de fusão, sendo necessário a utilização de uma proteção adicional, que pode ser um gás inerte (hélio ou argônio), ativo (CO₂) ou mesmo a mista destes, como ilustra a figura 3.

Figura 3: Processo de soldagem por fios fluxados com proteção gasosa

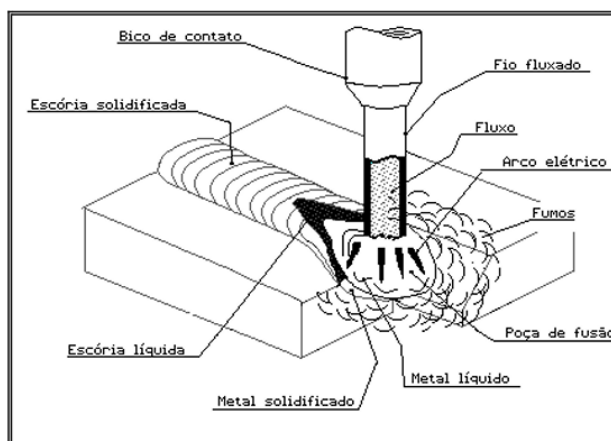


Fonte: AWS (1971)

2.1.2 Processo Autoprotégido

O arame auto protegido, que executa a proteção sem a necessidade de utilização gasosa. Devido a maior quantidade de fluxo dentro do arame, sua queima produz gases e fumos suficientes para proteger a poça de fusão quando para participar ativamente nas características do material depositado, essa variação do processo permite com que o processo de solda seja executado em lugares não controlados. Substitui o processo de solda por eletrodo revestido, permitindo uma solda de maior volume em locais de difícil acesso e condições de trabalho.

Figura 4: Processo de soldagem por fios fluxados autoprotégidos



Fonte: AWS (1971)

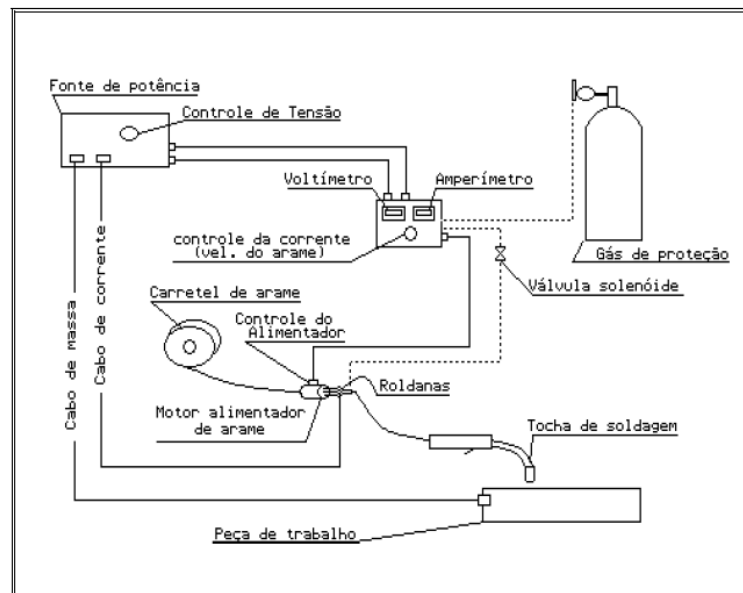
Principais características:

- Utiliza um eletrodo metálico tubular, que contém um fluxo apropriado interno para proteção do arco e do cordão;
- Pode ser semiautomática onde o soldador controla a posição e o deslocamento da tocha ou automática, onde a tocha é controlada por uma máquina;
- Esse processo deixa a escória originária do fluxo de proteção e a cada passe de solda é necessário limpeza para evitar o surgimento de escórias.

Os Equipamentos utilizados são semelhantes ao processo GMAW (Figura 5) e consiste em:

- Fonte de Energia: Corrente contínua e Tensão Constante.
- Alimentador: Velocidade constante ou variável, dependendo da espessura do arame tubular.
- Tocha: Podendo ser simples ou complexa com bocal para proteção gasosa, solda semi-automática, automatizada ou robotizadas.
- Fonte de Gás: para o processo protegido.

Figura 5: Equipamento básico para a soldagem com fios fluxados



Fonte: AWS (1971)

3 ABORDAGEM DA TENSÃO RESIDUAL E DISTORÇÕES DURANTE PROCESSO DE SOLDAGEM

As tensões residuais são tensões que atuam sem a necessidade de cargas externas, ou seja, estão no corpo do material. Estas surgem junto com o material durante sua fabricação (ESTEFEN, 2008). Como exemplo elas podem ser nomeadas em diferentes situações de processo de fabricação, conforme Antunes (1995): “tensões residuais de tempera, tensões residuais térmica, tensões residuais de usinagem, tensões residuais de conformação, tensões residuais de eletrodeposição, tensões residuais de soldagem”, entre outros.

As tensões residuais pós processo de soldagem é a principal tensão gerada durante a fabricação de uma estrutura caldeirada, basicamente, as tensões residuais se localizam nas junções das peças soldadas, devido a deformação formada e a variação de temperatura. Durante o processo de soldagem, o local em que ocorre a fusão, ou poça de fusão, provoca-se tensões térmicas em seu torno, variando à medida que se resfriam. As tensões se formam com os fenômenos de deformação plástica e transformações de fase do metal (MANSUR et al., 2011). Ao final do fenômeno o resultado é a ocorrência de tensões internas (tensões residuais) e possíveis mudanças permanentes de forma e dimensões, distorções na junta ou na peça como um todo.

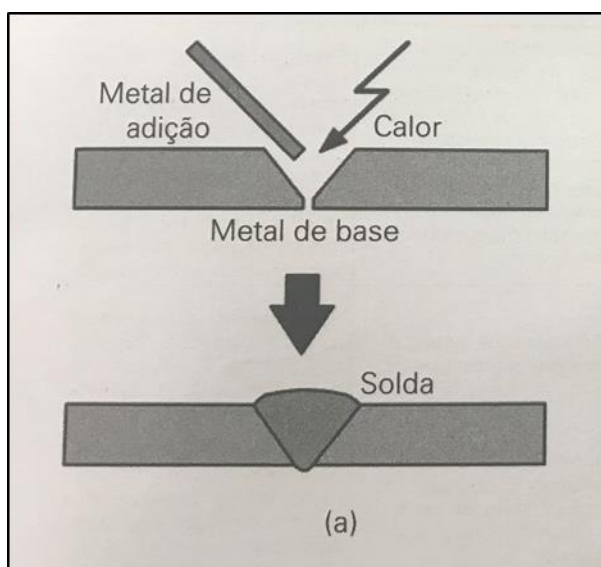
Existe a classificação de tensões residuais macroscópicas e microscópicas. Embora a primeira seja a mais considerada durante uma avaliação de tensões. Normalmente as tensões residuais se originam das variações de temperatura, deformações plásticas e mudanças metalúrgicas (RODRIGUES, 2011).

Embora pouco estudada, a tensão residual microscópica ocorre com mais frequência do que aparenta, já que o foco de muitos estudos é a macroscópica. No caso das microscópicas é recorrente a variação de densidades, micro precipitados, gases dissolvidos, gradientes na dissolução de elementos de liga ou impurezas dentro dos grãos e contornos de grãos, e é classificado pelo modo 3 de tensão residual. Com isso defeitos são comuns como a porosidade dentro da zona fundida, falta de penetração e falta de fusão no material de base (ANTUNES, 1995).

O calor, apesar de ser fundamental para o processo de soldagem, pode ser uma fonte de potencial problemas pós soldagem, devido a sua influência direta nas

propriedades mecânicas da material base. Na Figura 6 se tem uma representação básica de como se realiza a soldagem por fusão. Após o processo de soldagem temos o que chamamos de ZTA's – que são as zonas tecnicamente afetadas, essas áreas afetadas fragilizam as peças soldadas, fazendo com que tenhamos um ponto fragilizado na peça fabricada. (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

Figura 6: Representação esquemática da soldagem por fusão



Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (1992, p. 21)

Ainda comentando os autores, além da formação das Zonas termicamente afetadas temos um segundo fenômeno que acontece após processo de soldagem, que são as tensões residuais, essas tensões são geradas devido ao calor excessivo e fusão de materiais, que fazem com que a peça sofra uma deformação elástica, ou seja, uma deformação não permanente, mas que afeta a estrutura como todo, além das distorções ou deformações (NORTON, 2013),

De acordo com Chiaverini (1986) as tensões residuais são consideradas um fenômeno normal, e que muitas vezes não precisa ser tratado como indesejável. O que deve ser considerado é durante o processo de fabricação e a aplicabilidade da peça ou equipamento fabricado. Para equipamentos que irão exercer uma forma a tração alta, ou mesmo cisalhamento é indicado o tratamento dessas tensões residuais pós soldagem, afim de mitigar as mesmas e resguardar a funcionalidade da peça fabricada. Para tratamento dessas tensões residuais e das Zonas termicamente afetadas, é indicado um tratamento térmico muito utilizado pelas grandes indústrias

fabricantes de equipamentos, o Alívio de Tensão, como o próprio nome diz, é utilizado para minimizar as tensões geradas. (CHIAVERINI, 1986).

O alívio de tensão é um tratamento térmico realizado em peças soldadas, ele consiste em aquecer a peça até uma determinada temperatura e o resfriamento lento e controlado. Durante o processo temos algumas reações físicas, onde as partículas do aço começam a se excitar e a estrutura cristalina do mesmo se modifica e fica uniforme, com o resfriamento lento e controlado, as partículas vão se reorganizando, fazendo com que o aço volte a ter sua característica física retomada. Minimizando assim as tensões residuais e garantindo a durabilidade e aplicabilidade da peça. (CHIAVERINI, 1986).

Pode ser realizada a medição de tensões residuais por métodos de análise experimental, algumas são destrutivas, semidestruativas e não destrutivas. No caso da primeira, compromete a estrutura analisada. A segunda não impede o seu uso posterior. E a última não é necessário a remoção do material e não é danificado (RODRIGUES, 2011).

Um exemplo de medição de tensão residual é a técnica de seccionamento, a qual cria-se superfícies livres e redistribuir as tensões já existentes e assim determiná-las. Outro método é a redução de camadas, este é destrutivo, e permite medir as deflexões da estrutura com a remoção sucessiva de camadas. Já a técnica de difração de raios-x não é destrutiva por atuar na medição de rede cristalina dos materiais por meio de feixes de raios-x. Outras técnicas também são utilizadas e podem ser compreendida na Figura 7 ilustra a comparação entre elas (ANDRINO, 2003).

Figura 7: Comparação entre as principais técnicas de medição de tensões residuais

Técnica	Furo-cego	Deflexão	Seccionamento	Raio X	Difração de Nêutrons	Ultra-som	Magnética
Tipo de tensão residual analisado	Tipo I	Tipo I	Tipo I	Tipo I e Tipo II ou Tipo III	Tipo I e Tipo II	Tipo I + Tipo II + Tipo III	Tipo I + Tipo II + Tipo III
Informação obtida na medição	Deformação superficial ou deslocamento	Deformação ou deflexão	Deformação superficial ou deslocamento	Variação das distâncias interplanares	Variação das distâncias interplanares	Variação na velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas	Amplitude do ruído de Barkhausen ou Permeabilidade magnética
Porção mínima de material analisado	0,5 mm ²	1000 mm ² se for medida a deflexão e 100mm ² se for a deformação	100 mm ²	0,5 mm ²	4 mm ²	De 0,1 mm ² para a técnica das frequências altas e 30 mm ² para a técnica convencional	1 mm ² para o método do ruído de Barkhausen e 100 mm ² para o método de permeabilidade magnética
Profundidade mínima	20 µm	20 µm	1 a 2 µm	Até dezenas de microns	1 mm	15 µm até 300 µm	100 µm
Custo do equipamento (US\$)	10000 a 50.000	1000	15000	10000 a 200000	Algumas centenas de milhares	40000 a 200000	40000 a 200000
Reprodutibilidade	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Tempo médio para obter a primeira medição e estabelecer um perfil de tensões, respectivamente	40 min. e 2 horas	30 min. e 8 horas	40 min. e entre 5 e 20 horas	20 min. e 8 horas	2 horas e uma semana	Alguns minutos e 20 minutos	Instantaneamente e 10 min.
Incerteza em situações normais	± 20MPa	± 30MPa	± 10MPa	± 20MPa	± 30MPa	10 a 20 Mpa	10 a 20 MPa
Profundidade de inspeção	0,02 a 15 mm	0,1 a 3 mm	Todas acima de 1 mm	1 a 50 µm	2 a 50 mm	0,015 a 3 mm	0,1 a 1 mm

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0510813/CA

Fonte: Cofiño (2010)

A tensão residual pode ser aliviada, através de métodos e técnicas de alívio de tensão. Como exemplo pode ser aplicado sobre a solda o tratamento térmico, o qual sobre a estrutura soldada sofre o aquecimento de temperaturas em tempos adequados e resfriando lentamente, se adequando a cada tipo e espessura do material que será aplicado (COFIÑO, 2010).

Embora se acredite que a máxima tensão residual de tração em soldas seja tão alta quanto a resistência ao escoamento do material base, alguns testes realizados em que essas tensões foram menores que o limite de escoamento em soldas com material base de alta resistência.

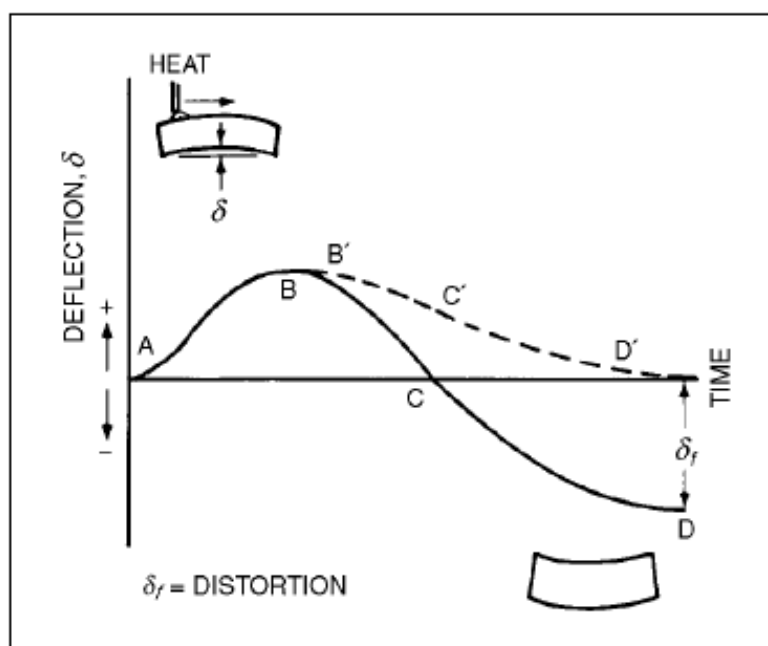
Assim, a tensão residual diminui a resistência à fratura de estruturas soldadas somente quando existirem certas condições. NO entanto a perda de força pode ser drástica, em geral os efeitos da tensão residual são significativos, caso as fraturas ocorram sob baixa aplicação de estresse.

Além das tensões residuais devido ao processo de soldagem, temos ainda o que chamamos de distorções, estas deformações podem ser transitórias ou permanentes e ocorrem devido a movimentação do metal aquecido.

Na figura 8, temos demonstrado a flexão de uma barra de metal retangular quando aquecida por um arco de soldagem ou aquecimento a gás. A Parte superior da barra foi aquecida do que o metal mais distante da fonte de claro. O metal aquecido expande, ocorrendo deformação da barra, mostrado pela curva AB. Se o material permanecer completamente elástico durante todo o processo térmico, toda tensão térmica produzida durante o ciclo irá desaparecer e a barra voltara a seu estado de origem, sem deformação. Entretanto na maioria dos casos temos deformação plástica devido ao calor excessivo, após o resfriamento temos o que podemos observar na curva ABCD, essa deformação é chamada distorção.

Interessante observar que o movimento do metal durante a soldagem é a distorção que ocorre após a soldagem estão em direções opostas e geralmente são da mesma ordem de grandeza.

Figura 8: Flexão de uma barra de metal retangular



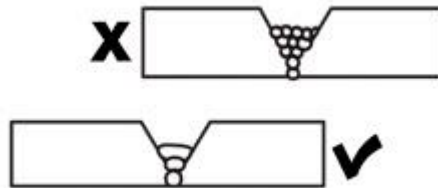
Fonte: AWS (1971)

Mudança temporal da deflexão central de um Barra Metálica sob a influência de uma fonte de calor em movimento longitudinal (Welding HandBook – Volume 1 Capítulo 7)

As distorções ainda podem ser controladas por processos mecânicos, que ao contrário do processo de alívio de tensão, que atua na micro estrutura do material os processos mecânicos atuam fisicamente na estrutura, segue algumas ações mecânicas que podem alivias as tensões e distorções das estruturas soldadas (Welding handbook, Volume 1 – Chapter 7).

- A) A utilização de um menor número de passes ou cordões: evitar utilizar vários cordões com um eletrodo fino, a opção é utilizar eletrodos com diâmetros maiores, evitando muitos passes (figura 9).

Figura 9: Utilização de um menor número de passes ou cordões



Fonte: ESAB (2024)

- B) Evitar o depósito excessivo de material: além de ser desnecessário, podendo elevar o custo de fabricação, criará maior resistência a junta, uma vez que quanto maior o volume de material depositado, maior o calor aplicado (figura 10).

Figura 10: Evitar o depósito excessivo de material

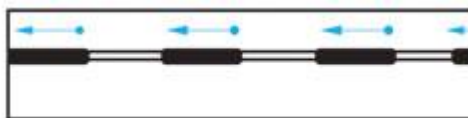


Fonte: ESAB (2024)

- C) Utilização de cordões alternados: quando aplicado cordões alternados, temos menor aplicação de solda, conseqüentemente, menos calor e menor

resistência. Dependendo do projeto, pode ser aplicada e é uma solução barata a fim de diminuir as contrações do enchimento por solda (figura 11)

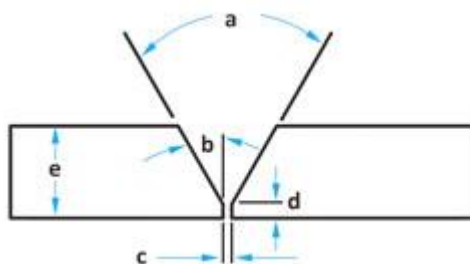
Figura 11: Utilização de cordões alternados



Fonte: ESAB (2024)

- D) Preparação correta: a preparação das juntas corretamente é extremamente eficaz e importante para a fabricação da estrutura soldada, seguir o que é normatizado, como abertura de raiz, tamanho de chanfro, faz com que o aporte de calor e material fundido seja o considerado e já testado (figura 12).

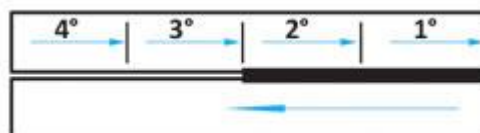
Figura 12: Preparação correta



Fonte: ESAB (2024)

- E) Aplicação de um passe Ré: caso a solda seja cordão contínuo, é possível reduzir a contração aplicando um cordão ao contrário da posição inicial, esse cordão parcial será feito na direção contrária (figura 13)

Figura 13: Aplicação de um passe Ré

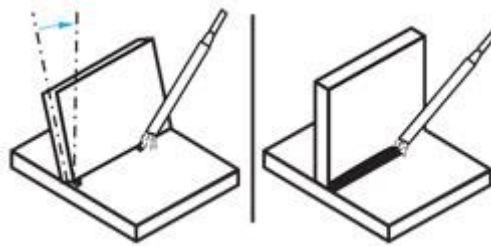


Fonte: ESAB (2024)

Ainda sobre ações durante a fabricação para auxiliar nas contrações e deformações ainda temos a possibilidade de utilização de forças contrárias.

- F) Montagem das peças, fora da posição: durante a montagem das peças, podemos deslocar a peça a ser soldada, para que durante a execução do cordão a própria contração do processo, fará o alinhamento (figura 14).

Figura 14: Montagem das peças, fora da posição



Fonte: ESAB (2024)

- G) Separação das peças para equilíbrio da contração: manter uma certa distância das peças, e a medida que for executando o processo de solda, vão se encontrando, evita a transferência imediata do calor fazendo com que a dilatação seja menor (figura 15).

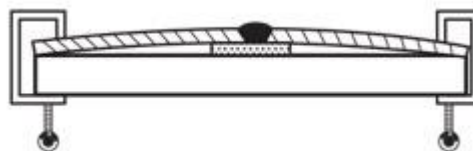
Figura 15: Separação das peças para equilíbrio da contração



Fonte: ESAB (2024)

- H) Curvamento oposto a solda: a mesma teoria de aplicar uma força contrária à contração durante a solidificação da poça de fusão (figura 16).

Figura 16: Curvamento oposto a solda



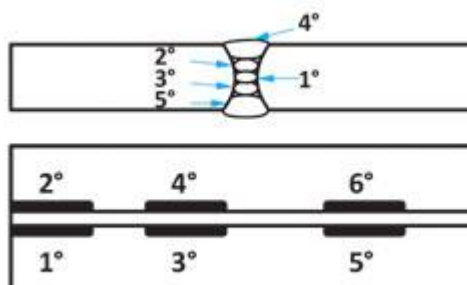
Fonte: ESAB (2024)

Algumas outras ações aplicadas durante o processo de solda que podem ajudar com os problemas de distorções são:

- I) Equilíbrio das forças: durante a soldagem, manter um equilíbrio das forças, a intenção é sempre trabalhar com forças vetoras contrárias, contando que

essa ação irá anular e equilibrar as forças. Eliminando as distorções (figura 17).

Figura 17: Equilíbrio das forças



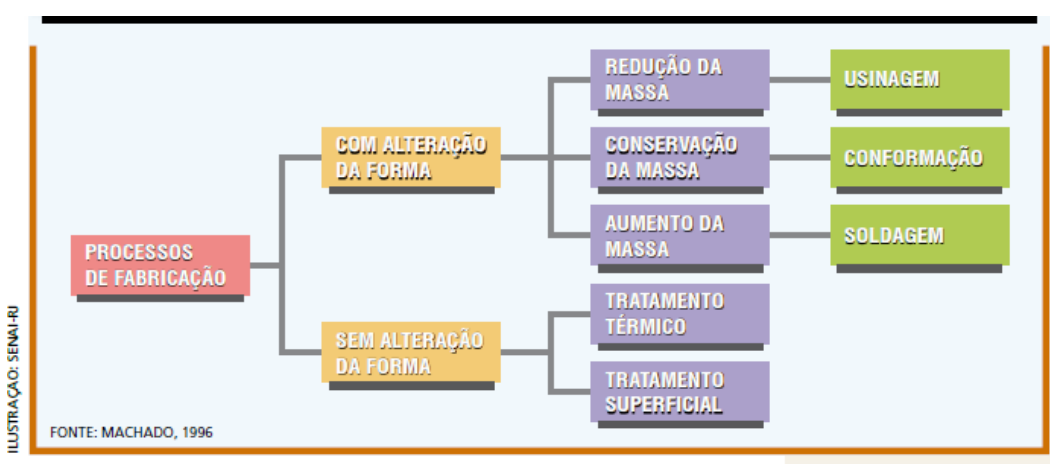
Fonte: ESAB (2024)

Entendendo como as distorções ocorrem, passamos a entender melhor sobre os processos de fabricação de estruturas soldadas e suas particularidades.

4 FABRICAÇÃO VIGA CAIXÃO

Fabricação é ação, efeito ou modo de fabricar, produzir algo ou alguma coisa partindo de matérias primas, ou seja, é trabalhar algo bruto e transformar em um item ou produto. Podem ser classificados conforme a figura 18.

Figura 18: Classificação dos processos de fabricação



Fonte: Machado (1996)

A fabricação desse viga caixão é um processo de fabricação com alteração da forma, aumento da massa, com processos de usinagem e soldagem.

A Viga caixão é uma estrutura metálica de seção fechada muito utilizada como estrutura de movimentação de carga, por ser resistente a torção e possuir uma melhor distribuição de sobrecarga transversal, quando comprada à outras formas de vigas, como exemplo a Viga I.

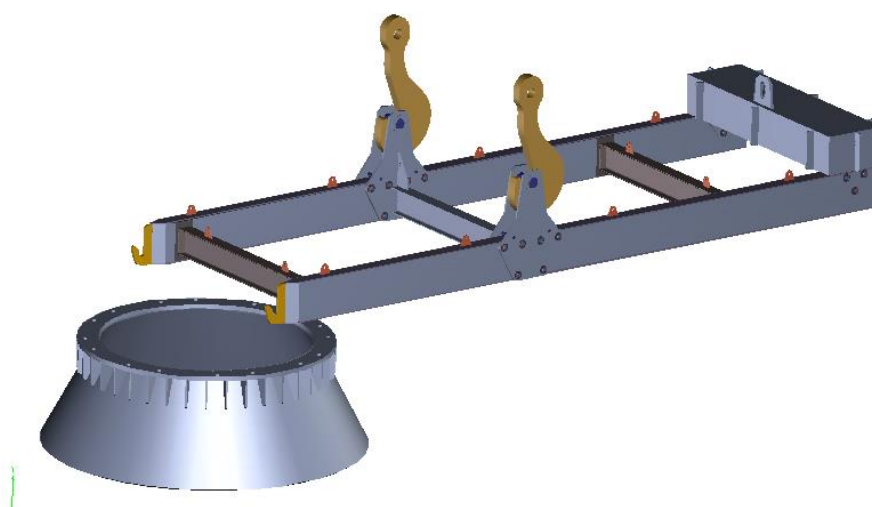
O projeto dessa viga foi recebido e definido pelo cliente e a fabricação do componente seguiu a norma AWS D 1.1, norma que contém requisitos para fabricação de montagem de estruturas de aço soldada, fabricada em chapa de aço ASTM A572 Gr 50, que é um tipo popular de aço de alta resistência e baixa liga (HSLA), normalmente usado em aplicações estruturais.

Compõem uma estrutura para remoção de cone, utilizada em uma Siderurgia e é composto por:

- 02 – Vigas Caixão
- 02 – Vigas transversais de Reforço e união
- 02 – Ganchos, soldados à viga Caixão
- 12 – Olhais de içamento das estruturas
- 06 – Contra peso

A figura 19 ilustra o Dispositivo para Remoção de Cone

Figura 19: Desenho 3D – Dispositivo para Remoção de Cone



Fonte: Objeto de estudo (2019)

A Fabricação da Viga ou qualquer estrutura soldada passa por etapas:

- Análise de todos os desenhos necessários para fabricação, são necessários desenhos de conjunto e detalhes de fabricação. A norma foi definida como AWS D 1.1, assim os critérios de fabricação serão definidos e seguidos conforme.

- Planejamento das Etapas de fabricação e detalhamento de todo material necessário para fabricação, essas informações estarão contidas nos desenhos, na norma e demais documentos compartilhados pelo cliente / engenharia.

- Definição de Compra do Materiais e aproveitamentos necessário, é uma ação de extrema importância pois é nesse processo que se faz grande parte do aproveitamento e otimização do processo;

- Aquisição de todo material e preparação do mesmo.

- Início do processo de Fabricação, montagem de toda estrutura. É muito importante esse processo de montagem pois é onde já conseguimos visualizar as dificuldades que teremos nos processos de soldagem e usinagens finais.

- Soldagem de todo componente;

- Usinagem Geral;

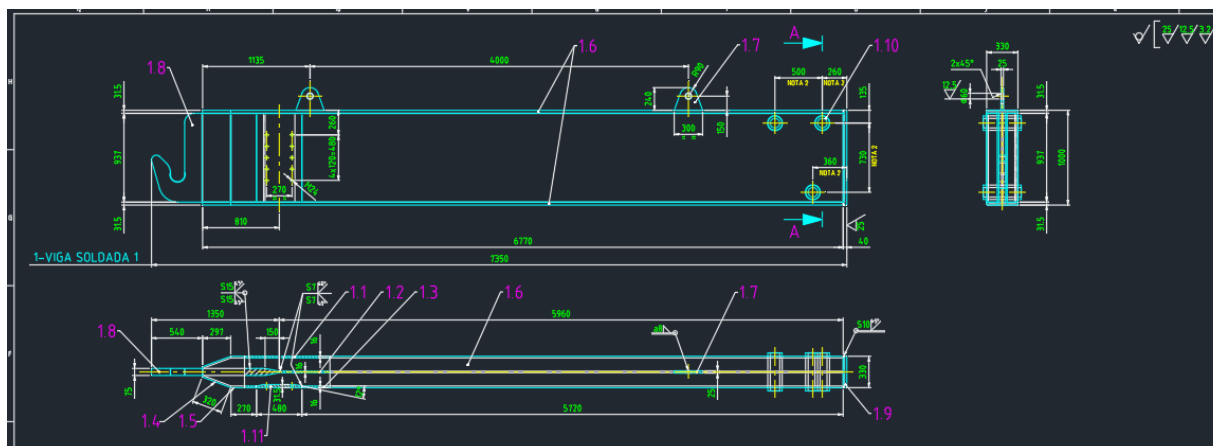
- Jateamento e pintura.

É importante entender que todo processo precisa ser controlado em suas fases. Esses controles garantem que o produto final esteja conforme as especificações e determinações do projeto.

4.1 Principais medidas da viga e composição

A Viga é composta por 11 (onze) posições, conforme explicado abaixo e Lista (figura 21) contida no Desenho de detalhe de fabricação (figura 20).

Figura 20: Desenho de detalhe de fabricação



Fonte: Objeto de estudo (2019)

Figura 21: Lista de detalhamento

Pos. Mark	Qtd Nº Req	Descricao Description	Material	Peso Un. Un. Weight	Peso Tot. Tot. Weight	Nº Desenho/Obs Dwg Nr/Remarks
1	1	VIGA SOLDADA 1	-	4272,0	4272,0	
1.1	1	CHAPA 16 x 937 x 6470	ASTM A-572 Gr-50	754,3	754,3	
1.2	1	CHAPA 16 x 937 x 5960	ASTM A-572 Gr-50	694,4	694,4	
1.3	1	CHAPA 16 x 937 x 5720	ASTM A-572 Gr-50	666,1	666,1	
1.4	2	CHAPA 16 x 320 x 937	ASTM A-572 Gr-50	37,6	75,2	
1.5	1	CHAPA 16 x 270 x 937	ASTM A-572 Gr-50	31,7	31,7	
1.6	2	CHAPA 31,5 x 330 x 6770	ASTM A-572 Gr-50	544,2	1088,4	
1.7	2	CHAPA 25 x 240 x 300	ASTM A-572 Gr-50	9,2	18,4	
1.8	1	CHAPA 75 x 937 x 1350	ASTM A-572 Gr-50	572,3	572,3	
1.9	1	CHAPA 40 x 330 x 1000	ASTM A-572 Gr-50	103,6	103,6	USINADA
1.10	3	TUBO MECÂNICO Ø153/100 x 400	ST-52	55,3	165,9	USINADO
1.11	1	CHAPA 31,5 x 480 x 937	ASTM A-572 Gr-50	101,6	101,6	

Fonte: Objeto de estudo (2019)

1 Chapa 16 mm. 937 x 6470 mm – ASTM A 572 Gr 50 – Esse item é uma das chapas para fechamento da viga;

1.1 Chapa 16 mm. 937 x 5930 mm – ASTM A 572 Gr 50 - Esse item é o que chamamos de Alma da Viga ou nesse caso pode ser considerado um Reforço interno da Estrutura caixão. É nessa Estrutura onde teremos uma montagem com transição de chapa de 16 mm de espessura para uma de 75 mm, que compõem o gancho da estrutura.

1.2 Chapa 16 mm. 937 x 5930 mm – ASTM A 572 Gr 50 - Esse item é o que chamamos de Alma da Viga ou nesse caso pode ser considerado um Reforço interno da Estrutura caixão. É nessa Estrutura onde teremos uma montagem com transição de chapa de 16 mm de espessura para uma de 75 mm, que compõem o gancho da estrutura.

1.3 Chapa 16 mm. 937 x 6470 mm – ASTM A 572 Gr 50 – Esse item é o segundo fechamento da viga;

- 1.4 Chapa 16 mm. 320 x 937 mm – ASTM A 572 Gr 50 – Esse item é a chapa que faz o fechamento da viga para a montagem do Gancho posição (1.8).
- 1.5 Chapa 16 mm. 270 x 937 mm – ASTM A 572 Gr 50 – Esse item são as pontas da viga, que fecham soldadas as posições 1.1, 1.2 e 1.8
- 1.6 Chapa 31,5 mm – 330 x 6770 mm – Esse item são as duas chapas de fechamento horizontal da chapa, essas chapas suportam as soldas da Alma e tampas laterais.
- 1.7 Chapa 25 mm. 240 x 300 mm – Duas emendas no meio da alma que suportarão montagem dos demais itens do conjunto.
- 1.8 Chapa 75 mm. 937 x 1350 mm – Gancho da ponta da estrutura, é soldado na alma pos 1.2 e 1.6.
- 1.9 Chapa 40 mm. 330 x 1000 – Chapa de fechamento, soldada nas posições 1.1 e 1.2
- 1.10 Tubo mecânico ST52- Serão montados para posterior mandrilhamento do furos e montagem de demais componentes do conjunto
- 1.11 Chapa 31,5. 480 x 937 mm – Chapa de emenda de uma das chapas laterais, soldada a posição 1.2

Para o processo de fabricação de uma estrutura soldada e importante também conhecer o material de fabricação e suas características, isso implicará diretamente no processo de soldagem e na criação de seus procedimentos de solda, como EPS e RQPS.

Toda estrutura é fabricada em aço A572, que contém ligas químicas que aumentam a dureza do material e a capacidade de suportar peso, e este material é leve em relação aos tipos de aço com composições semelhantes.

Existem cinco tipos diferentes de chapa de aço A572: Grau 42, Grau 50, Grau 55, Grau 60 e Grau 65.

Cada uma dessas classes apresenta pequenas diferenças em suas propriedades mecânicas e composições químicas, o que pode torná-las mais adequadas para determinadas aplicações. A572-50, entretanto, é a classe A572 mais comum.

No Brasil o fabricante dessa liga é a Usiminas e temos os seguintes espessuras(E) disponíveis (tabela 1).

Tabela 1: Espessuras disponíveis

	C%	Si%	Mn%	P%	S%
A572 Gr					
50	0,23	0,40	0,50	0,04	0,05
6,00 ≤ E ≤	máx	máx	a	máx	máx
9,52	0,23	0,40	1,35	0,04	0,05
9,53 ≤ E ≤	máx	máx	0,80	máx	máx
38,10	0,23	0,15	a	0,04	0,05
38,11 ≤ E	máx	a	1,35	máx	máx
≤ 101,60		0,40	0,80		
			a		
			1,35		

Fonte: Usiminas (2023)



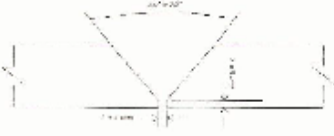

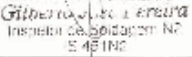
Propriedades Mecânicas:

- LE (Mpa) – Limite de Escoamento é o limite de tensão máxima ao qual um material pode suportar sem sofrer deformações permanentes, para esse material especificamente temos 345 Mpa
- LR (Mpa) – Limite de Resistência ou tração é o limite que o material pode suportar até sofrer ruptura, para esse material especificamente temos 450 Mpa
- Alongamento (%) é igual a 16%, ou seja, é o valor percentual do comprimento da peça sob tração até o momento de ruptura.

Definido e entendido todas as demandas do projeto, partimos para o processo de fabricação.

Utilizamos uma Especificação de Solda que já possuíamos conforme segue na figura 22.

Figura 22: Especificação de Solda

		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM <small>(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)</small>						
PROJETO / CLIENTE: <small>(PROJECT / CUSTOMER)</small>		IRMÃOS AYRES S.A.						
EPS: <small>(WPS)</small>	001/15	RDS: <small>(RDS)</small>	001/15 - 2G	NORMA: <small>(STANDARD)</small>	AWS D1.1			
METAL BASE: <small>(BASE METAL)</small>	ASTM A 572 GR 50	X	ASTM A 572 GR 50	TRATAMENTO TERMICO: <small>(POST TREATMENT)</small>	X SIM NÃO			
P/Nº GÁS:	II	X	II	TIPO GÁS:	ALIVIO DE TENSÕES			
PRÉ-AQUECIMENTO(°C): <small>(PREHEATING)</small>	DETALHE DA JUNTA (aproximado): 							
3,17 < T < 20 = 0°C 20 < T < 38 = 10°C 38 < T < 65 = 05°C T > 65 = 110°C T = Espessura do material	EPS válido para juntas de topo com chanfro e penetração total e juntas de ângulo sem chanfro. Para outro projeto de juntas ver fig 3.4 da AWS D1.1 Espessura para metal de base: 3 à ilimitada							
TEMP. INTERPASSOS: <small>(INTERPASS TEMPS)</small>	350 °C MAX							
APORTE DE CALOR: <small>(HEAT INPUT)</small>	NA kJ/mm							
CIEME JUNTA: <small>(BEVEL)</small>	SIM X NÃO							
MATERIAL: <small>(MATERIAL)</small>	Não Aplicável							
LIMPEZA DA FONTE: <small>(SOURCE CLEANING)</small>	GOIVAGEM A ARCO OU ESMERIL			LIBREZA DEIS CONDÍÇÕES: <small>(PREPARATION)</small>				ESCOVA DE AÇO, PICADEIRA
LARG. DO PASSE/ARCO OU OSCILADO: <small>(PASS OR ARC OR OSCILLATION WIDTH)</small>	25mm (MAX)			MODO DE TRANSFERÊNCIA: <small>(TRANSFER MODE)</small>				Não Aplicável
PASSE <small>(PASS)</small>	PROCESSO / TIPO <small>(PROCESS / TYPE)</small>	COR. / POL. <small>(WIRE / POL)</small>	POSICÃO <small>(POSITION)</small>	ESPESS. DEPOSITADA <small>(DEPOSITED METAL THICKNESS)</small>	ELETRODO <small>(ELECTRODE)</small>	PASSE <small>(PASS)</small>		
TOCOS	TCAW (SEM-AUTOMÁTICO)	CC+	P e H	Ilimitada		SIMPLES	MÚLTIPLO	
PASSE <small>(PASS)</small>	METAL ADIÇÃO <small>(FILLER METAL)</small>	DIÂMETRO <small>(DIAMETER)</small>	FLUXO/GÁS <small>(PROCESS)</small>	CORRENTE <small>(CURRENT)</small>	TENSÃO <small>(VOLTAGE)</small>	VELOCIDADE <small>(SPEED)</small>	VAZÃO <small>(FLOW)</small>	STICK-OUT <small>(LENGHT)</small>
RAIZ	E 71T-1	1,2	CO2	170 A 210	22 A 25	15 A 25	10 A 15	10 A 14
DEMAIS	(AWS A 5.20)		CO2	190 A 280	25 A 31	10 A 40		
OBSERVAÇÕES: <small>(REMARKS)</small>								
1) Posição: P (Plana) e H (Horizontal); 2) Inclinação da tocha de soldagem: 90° - 90° com vertical, soldas "puxando"; 3) EPS aplicável à diâmetros > 600mm para soldas de topo com chanfro, e para soldas de ângulo sem chanfro, qual a espessura para todos os diâmetros								
ELABORADO POR: <small>(PREPARED BY)</small>		VERIFICADO POR: <small>(CHECKED BY)</small>			CLIENTE: <small>(CUSTOMER)</small>			
 Isabela Brito F. Vermelho INSPETOR DE SOLDAGEM 025 - 15 1322 RL		 Gilberto de Jesus INSPETOR DE SOLDAGEM Nº 15 45 1100						

Fonte: Documento extraído arquivo técnico – Empresa Grupo Ayres S.A (2024)

Assim, seguindo a Especificação de Solda, e demais documentos técnicos, esse processo precisa ser executado com critério, pois erros de montagem, podem levar a atraso no processo e prejuízos.

Entendendo que estamos utilizando a norma AWS D 1.1, temos aplicado as seguintes tolerâncias para essa fabricação.

AWS 5.23 – Linearidade de Colunas e Estruturas. Para colunas e membros estruturais primários soldados, a despeito de seção transversal, a variação máxima em linearidade deve ser:

Comprimento de menos de 30 pé (9 m).

$1/8" \times n^{\circ}$ de pés de comprimento total / 10

1mm x N^o de metros do comprimento total

Assim, para a viga em questão utilizamos as seguintes informações.

$3,175 \times 22,3097/10$ pés = 7,083

1 mm x 7,083 = 7,083 mm de deformação permitido em toda estrutura. Cerca de 1 mm por metro

Iniciado o processo de preparação da matéria prima, a viga foi dividida em subconjuntos para melhor programação e planejamento.

- Subconjunto – laterais de fechamento; (posições 1.1, 1.3, 1.4, 1.5, 1.10 e 1.11.)
- Subconjunto – montagem alma nas tampas da viga; (posições 1.2, 1.8 e 1.6)
- Subconjunto – Montagem dos Sub Conjuntos 1 e 2 e demais posições de fechamento. (1.7 e 1.9)

A principal dificuldade verificada nesse projeto, foi a necessidade de toda estrutura ser extremamente alinhada, uma vez que a viga trabalha em conjunto com com uma segunda viga similar e contém ainda componentes que serão mandrilados em conjunto. Todo processo de fabricação depende de como será desenvolvido e executado a montagem e soldagem do componente, a fim de garantir todo alinhamento necessário à estrutura.

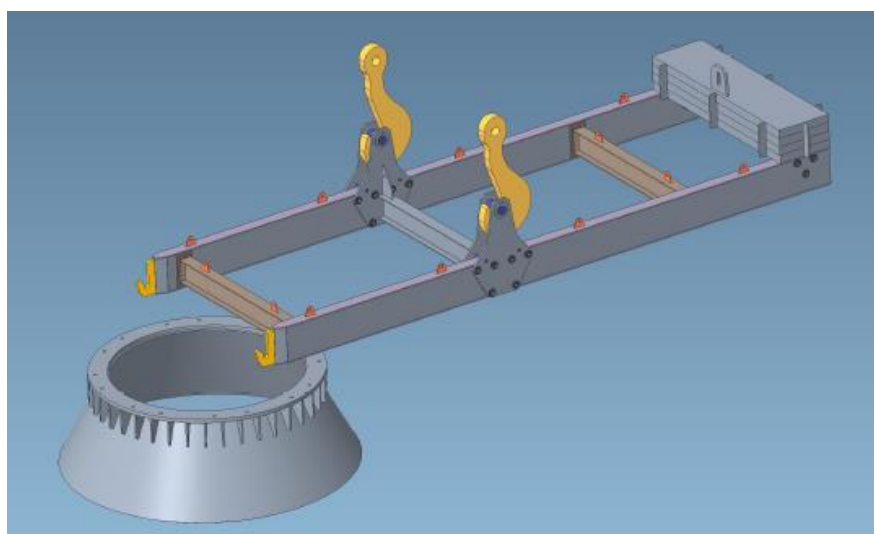
Para sequencia de fabricação, foi considerado diversos processos com o propósito de tratar as distorções e tensões residuais.

- Solda com o menor número de passes possíveis;
- Manter a posição de soldagem plana ou horizontal, seguindo a especificação da EPS; plana e horizontal.

- Aplicação de cordões de solda intercalados, fazendo com que o calor e contrações fossem controlados e projetados opostos;
- Durante a solda da alma Posição 1.2 as posições 1.6, utilizamos dois soldadores simultâneos, onde conseguimos produtividade e maior controle das distorções.

Visto isso, desenho 3D na figura 23 C

Figura 23: Conjunto remoção Cone.



Fonte: Objeto de estudo (2019)

4.2 Fabricação subconjuntos: laterais de fechamento; (posições 1.1, 1.3, 1.4, 1.5, 1.10 e 1.11.)

Todo processo de montagem, ponteamto foi executado com arame sólido 1.2 mm, MAG.

Processo de solda foi feito conforme EPS, processo de solda FCAW (semi-automático, arame solda E71T-1 de 1.2 mm de espessura. Proteção gasosa utilizada CO₂, soldada na posição Plana, pós soldagem testes de LP.

A figura 24 exhibe as fotos das laterais de fechamento da viga durante teste de líquido penetrante.

Figura 24: laterais de fechamento da viga



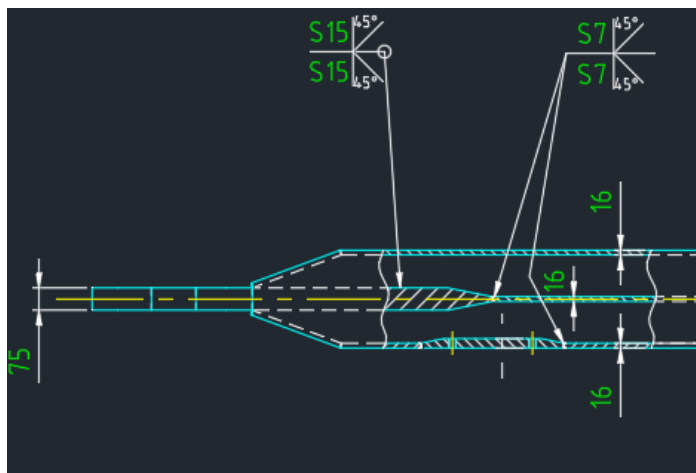
Fonte: Autoria própria (2019)

4.3 Fabricação 2º subconjunto: montagem alma nas tampas da viga (posições 1.2, 1.8 e 1.6)

Durante essa montagem e soldagem da alma da viga juntamente com a solda do gancho, essa solda foi um dos processos mais interessantes, onde temos uma variação de espessura considerável, passando de 16 mm para 75 mm do gancho.

Conforme projeto solicitado Solda em toda circunferência, 45°, S especifica a profundidade do Bisel; Dimensão ou resistência para alguns tipos de soldas (E) Dimensão da solda de Chanfro. Assim temos uma solda 7 mm e 15 mm especificamente, o que gera um volume de solda considerável, com aporte de solda alto (figura 25).

Figura 25: Indicação da solda solicitada



Fonte: Autoria própria (2019)

A figura 26 indica a montagem do gancho na alma da Viga, transição de espessura de 16 mm da alma para 75 mm do gancho, juntamente com solda das tampas. Montagem posições 1.2, 1.8 e 1.6

Figura 26: Montagem do gancho na alma da Viga



Fonte: Autoria própria (2019)

Durante o processo de soldagem da alma já soldada ao Gancho as chapas de Tampa, observamos uma distorção considerável, que poderia comprometer a montagem dos demais componentes e a sequência de mandrilhamento das vigas. Optou-se por colocar a viga em pé, apoiada na posição 1.6 (base), e executar a solda Horizontal com dois soldadores simultâneos em posições opostas e mantendo a mesma velocidade. Assim a medida que fosse aplicado o material fundido e houvesse a solidificação, as contrações seriam opostas, fazendo com as distorções fossem se anulado.

4.4 Subconjunto – montagem dos sub conjuntos 1 e 2 e demais posições de fechamento. (1.7 e 1.9)

Estrutura montada e posicionada na posição para processo de solda. Toda solda na posição horizontal, com dois soldadores simultâneos, trabalhando em lados opostos (seta indicando fluxo do processo – figura 27).

Figura 27: Estrutura montada e posicionada na posição para processo de solda



Fonte: Autoria própria (2019)

Após soldagem de todo conjunto, foram feitos os testes necessários de LP (figura 28)

Figura 28: Viga Soldada



Fonte: Autoria própria (2019)

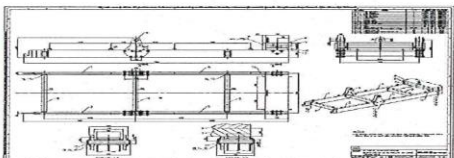
Cada subconjunto foi controlado individualmente, considerando todas as características do projeto e tolerâncias conforme normas e cálculos apresentados, esse controle de torções é feito através de medições através de nível óptico, posicionado, o desvio permitido para a estrutura é de 1mm/m.

Após análise, todos os processos foram aprovados e conforme relatório dimensional (figura 29), todas as medidas atenderam a tolerância de projeto.

Figura 29: Relatório dimensional

PRONTOMEC INDUSTRIAL LTDA. | CNPJ: 17.639.865/0001-03 | prontomec@prontomec.com.br | prontomec.com.br
Av. Sócrates Mariani Bittencourt, 1.430 | Cinco | Contagem MG | Brasil | CEP: 32010.010 | +55 31 3358.1111

PRONTOMEC
INDUSTRIAL

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO (INSPECTION REPORT)		Nº Relatório: (IDENTIFICATION)	0221-19	
CLIENTE (Customer): SMS GROUP METALURGICA DO BRASIL LTDA		FOLHA (Page): 01		
OS: 19050	PL: 100	DATA (Date):		
DOC. DE REFERÊNCIA (Reference document): 231.334.99.08		FASE (Plan):		
OBJ. DE INSPEÇÃO (Inspection object): DISPOSITIVO DE REMOÇÃO DO CONE				
QUANTIDADE (Amount): 01	CONFORME (According): 01	NÃO CONFORME (No conformity):		
CROQUIS (Croquis) / Comentários (Comments):				
				
CARACTERÍSTICAS CONTROLADAS (Controlled Characteristics)				
ITEM:	REFERÊNCIA (Reference)	ESPECIFICAÇÃO (Specified)	VERIFICADO (Verified)	DESVIO (Shunting line)
1	QUAD. F2	5200,00	5200,00 / 5204,00	0
2	QUAD. F1	2300,00	2300,00	0
4	QUAD. F8	17350,00	17358,00	0
5	QUAD. F5	1000,00	998,00 / 1002,00	0
6	QUAD. F9	720,00	720,00	0
7	QUAD. E12	330,00	333,00	0
8	QUAD. E9	520,00	520,00	0
9	QUAD. E9	1520,00	1520,00	0
10	QUAD. C10	6000,00	6002,00	0
11	QUAD. C8	6000,00	6002,00	0
12	QUAD. D12/D9/D7	328,00	328,00	0
TIPO DE INSPEÇÃO: (Type of Inspection) <input checked="" type="checkbox"/> Dimensional (Dimensional) <input type="checkbox"/> Duroza (Hardness) <input type="checkbox"/> Visual (Appearance) <input type="checkbox"/> Pré-montagem: (Daily Pay-Assembly) <input type="checkbox"/> Funcionamento (Functioning) <input type="checkbox"/> Pintura (Painting)				
Resultado (Result):		Obs. (Comments):		
<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado (Approved)		Instrumentos utilizados: TRENA TCM - 300 TRENA TCM - 305		
<input type="checkbox"/> Reprovado (Disapproved)				
<input type="checkbox"/> Aceito pelo cliente (Accepted Client)				
<input type="checkbox"/> Aprovação parcial (Partial approval)				
Inspeção (Oversee) / Data (Date of Inspection):	Responsável (Responsible) - PMEC / Data (Date)	Cliente (Client):		
FREDERICO OHARA 27/06/2019	ADAUTO ELLER 27/06/2019			

IT. 44 REV 00

Fonte: Autoria própria (2019)

Por ser um processo executado manualmente, variações são comuns, devido a exclusividade do projeto, não ser um produto de fabricação constante, não se faz necessários estudos para melhorias do processo, como a robotização da solda e sistemas mecanizados de fabricação.

Como foram fabricadas duas vigas, toda preparação e montagem foi feita em conjunto, na soldagem da primeira viga observou-se um maior empeno, variação de até 2mm/m, essa estrutura foi soldada com apenas um soldador fazendo toda solda da parte de cima na posição plana, assim, para fabricação da viga 2, foi discutido ações mitigadoras e optou-se por na posição horizontal, com dois soldadores e a

utilização de solda intercalada, assim, foi possível homogeneizar a distribuição de calor e para essa vida especificamente, encontrou-se distorções lineares de até 1,02mm /m, o que está dentro do aceitável para o projeto.

A princípio, toda estrutura seria levada para tratamento térmico de alívio de tensões, após controle dimensional e alinhamento junto ao cliente final, foi decidido não executar tal alívio. Essa decisão foi tomada em conjunto, entre fabricantes, engenharia e cliente final e as razões foram:

- Redução de prazo e de custo do projeto;
- Análise dimensional pós tratamento, tolerâncias já estavam dentro das aceitáveis para o projeto;
- A viga não irá operar com forças cíclicas, a utilização da estrutura se limita ao processo de manutenção do cone, que ocorre a cada período de 5 anos, estimados.

Assim, temos a sequência de fabricação do dispositivo, com a usinagem de conjunto, que não seria possível caso as distorções de fabricação acima descritas não estivessem dentro das tolerâncias de projeto (figura 30).

Figura 30: Dispositivo



Fonte: Autoria própria (2019)

Processo de mandrilhamento dos furos, onde foram montados os tubos mecânicos. A figura 31 exibe o sistema pronto.

Figura 31: Entrega Final

Fonte: Aatoria própria (2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi compreendido que a soldagem é um processo de fabricação em que ocorre a união de duas estruturas, mais comuns as metálicas, podendo ocorrer por meio da pressão ou fusão. Dentre o processo de fusão tem-se como principais: o MIG/MAG, ER, TIG, Arco Submerso e Plasma.

Uma preocupação presente no processo é a falha, que podem surgir durante seu processo e danificar sua estrutura. A descontinuidade formada pode ser causada por diversos fatores, que incluem a qualidade do arame, a velocidade da soldagem, variações incorretas no uso dos gases e entre outros. Com isso as falhas que podem ser identificadas, como tricas, porosidade ou falta de preenchimento são as mais comuns.

As distorções e tensões residuais podem prejudicar o produto fabricado por soldagem de fusão, por terem como característica a interrupção ou violação estrutural no local soldado. O aumento de tensão residual pode ser gerado e assim desqualificar mais a peça. As tensões são avaliadas por métodos e controle de distorções diversos precisam ser utilizados, a fim de contornar esses fenômenos mecânicos comuns ao processo.

A sequência de soldagem e parâmetros da solda precisam ser determinados e seguidos, pois eles serão os fatores que permitirão os resultados satisfatório da fabricação estrutural.

Assim observarmos a importância de se ter procedimentos de soldas, de se conhecer o material que será soldado, de estudar todo o projeto, pois todas as etapas são cruciais e precisam ser controladas para que o produto final seja satisfatório e exerça sua função com eficiência. Além de tudo isso, precisamos pensar em custos de fabricação e eficiência.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRINO, Marcilio Haddad. **Avaliação de tensões residuais em soldas de dutos utilizando o efeito acustoelástico**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.
- ANTUNES, Augusto Eduardo Baptista. **Tensões residuais na soldagem, aspectos básicos**. RBCM. 394-403 p. 1995.
- ÁQUILA, Victor. **Processo de soldagem MIG/MAG e arame tubular**. Salvador, 2012.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica – Processo de fabricação e tratamento**: São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1986.
- COFIÑO, Rachel Cristina. **Análise das tensões residuais em uma junta soldada em condição overmatch**. Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, 2010
- ESBA. **Tratamento Térmico de Alívio de Tensões na soldagem**. Disponível em <https://esab.com/br/sam_pt/esab-university/articles/tratamento-termico-de-alivio-de-tensoes-na-soldagem> Acesso em 09 de abril de 2024
- ESTEFEN, Seguen et al. **Análise de evolução do estado das tensões residuais de soldagem**. EXPOSOL. 2008. Disponível em: <>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- MANSUR, Tanius R. et al. **Estudo das tensões residuais em juntas soldadas de materiais dissimilares e determinação dos limites de resistência à fadiga dos metais de base**. Soldag. insp. Vol.16, No. 3, p.274-284. São Paulo, 2011.
- MARQUES, Paulo V.; MODENESI, Paulo J.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.
- MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José, BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**: Belo Horizonte, Editora UFMG, 2009.
- MODENESI, Paulo J. **Terminologia usual de soldagem e símbolos de soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.
- NORTON, Robert L. **Projetos de Máquinas: uma abordagem integrada**: Porto Alegre, Bookman, 2013.

PEIXOTO, Arildomá Lobato. Soldagem. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Belém, 2012.

RODRIGUES, Telmo Viana. **Tratamento térmico pós-soldagem para alívio de tensões residuais em chapas de aço soldadas: modelagem e análise experimental.** Dissertação mestrado. CEFET-RJ. Rio de Janeiro, 2011.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte, MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem Processo e metalurgia:** São Paulo, Editora Edgar Blucher Ltda, 1992.