

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Departamento de Engenharia Mecânica

Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação – LRSS

Carlos Roberto Nazareth

**ANÁLISE E REPARO DE DESCONTINUIDADES EM GERADORES DE VAPOR:
estudo de caso do BVG - 13000**

Belo Horizonte

2024

Carlos Roberto Nazareth

**ANÁLISE E REPARO DE DESCONTINUIDADES EM GERADORES DE
VAPOR: estudo de caso do BVG-13000**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Engenheiro de Soldagem

Orientador: Prof. Dr. Ariel Rodrigues Arias

Belo Horizonte

2024

N335a

Nazareth, Carlos Roberto.

Análise e reparo de descontinuidades em geradores de vapor
[recurso eletrônico] : estudo de caso do BVG-13000 / Carlos Roberto
Nazareth. – 2024.

1 recurso online (33 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. 31-33.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Soldagem. 2. Geradores. I. Arias, Ariel Rodríguez. II. Universidade
Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE SOLDAGEM

UFMG

ATA DA DEFESA DA MONOGRAFIA DO ALUNO CARLOS ROBERTO NAZARETH

Realizou-se, no dia 21 de outubro de 2024, às 14:00 horas, on line, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de monografia, intitulada *Análise e Reparo de Descontinuidades em Geradores de Vapor: Estudo de Caso do BVG-13000*, apresentada por CARLOS ROBERTO NAZARETH, número de registro 2022687447, graduado no curso de ENGENHARIA MECÂNICA, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em SOLDAGEM, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Ariel Rodriguez Arias - Orientador (UFMG), Prof(a). José Geraldo Rocha (Empresa Servins Serviços), Prof(a). Igor Vinicius Silva Rocha (Empresa Servins Serviços).

A Comissão considerou a monografia:

☒ Aprovada (75) Nota

☐ Reprovada

22

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 21 de outubro de 2024.

Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias
Chefe do Departamento
Eng. Mecânica | Esc. de Engenharia
Inscrição UFMG: 32782

Prof(a). Ariel Rodriguez Arias (Doutor)

Prof(a). José Geraldo Rocha (Graduado)

Prof(a). Igor Vinicius Silva Rocha (Graduado)

RESUMO

Este trabalho analisa os métodos de inspeção e reparo de descontinuidades em geradores de vapor, focando no estudo de caso do Gerador de Vapor BGV-13000, localizado na SDS Siderúrgica em Sete Lagoas, Minas Gerais. Foram identificadas quatro trincas transversais na junta soldada circunferencial C2, que foram reparadas utilizando o processo de soldagem SMAW. Para verificar a integridade das soldas após o reparo, foram realizados ensaios não destrutivos, como inspeção visual, partículas magnéticas e ultrassom. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia dos métodos aplicados, assegurando a funcionalidade e a segurança do equipamento. O trabalho contribui para o aprimoramento das práticas de manutenção na engenharia de soldagem, ressaltando a importância de um controle de qualidade rigoroso.

Palavras-chave: Geradores de vapor; descontinuidades; inspeção não destrutiva; soldagem; SMAW.

ABSTRACT

This work aims to analyze and discuss inspection and repair methods for discontinuities in steam generators, focusing on the case study of the BGV-13000 Steam Generator. The research was conducted at SDS Siderúrgica, located in Sete Lagoas, Minas Gerais, where four transverse cracks were identified in the circumferential welded joint C2. Non-destructive testing methods such as visual inspection, magnetic particle testing, and ultrasonic testing were used to verify the integrity of the welds after repair, performed using the SMAW welding process. The results indicated the effectiveness of the applied methods, ensuring the functionality and safety of the equipment. This work contributes to improving maintenance practices in welding engineering, highlighting the importance of strict quality control.

Keywords: Steam generators; discontinuities; non-destructive testing; welding; SMAW.

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1 e 2: Análise metalográfica da microestrutura

Figura 3: Processo de inspeção visual na junta soldada

Figura 4: Trincas detectadas na caldeira flamotubular

Figura 5: Regulagem da amperagem da máquina de solda

Figura 6: Processo de soldagem SMAW em ação

Figura 7: Controle de temperatura durante o processo de soldagem e enchimento do reparo

Figura 8: Alívio de tensão por vibração, executado na região de reparo de solda

Figura 9: Gráfico de Comparação da Dureza Antes e Depois do Alívio de Tensões

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

-ASME: American Society of Mechanical Engineers

-AWS: American Welding Society

-END: Ensaios Não Destrutivos

-SMAW: Shielded Metal Arc Welding

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Importância dos Geradores de Vapor nas Indústrias	12
2.2. Descontinuidades em Juntas Soldadas Circunferenciais	12
2.3. Métodos de Reparo de Soldas em Geradores de Vapor	13
2.4. Ensaios Não Destrutivos (END) e Verificação da Integridade	13
2.4.1. Inspeção Visual	13
2.4.2. Partículas Magnéticas	14
2.4.3. Ultrassom	14
2.5. Reparo de Soldas em Geradores de Vapor	15
2.5.1. Procedimentos de Soldagem	15
2.5.2. Alívio de Tensões	16
2.6. Metalografia Controle de Qualidade	16
Figura 1: Análise metalográfica da microestrutura	17
Figura 2: Análise metalográfica na microestrutura	17
2.7. Normas Técnicas e Procedimentos	18
2.8. Segurança no Processo de Soldagem	18
3 METODOLOGIA	19
3.1. Inspeção Inicial e Identificação de Descontinuidades	19
Figura 3: Processo de inspeção visual na junta soldada	19
Figura 4: Trincas detectadas na caldeira flamotubular	20
3.2. Ensaios não destrutivos (END's)	20
3.2.1. Escolha do Ultrassom em relação ao raio x.	21
3.3. Reparo das Descontinuidades	21
Figura 5: Regulagem da amperagem da máquina de solda	22

Figura 6: Processo de soldagem SMAW em ação	22
Figura 7: Controle de temperatura durante o processo de soldagem e enchimento do reparo	23
3.4. Alívio de tensões	23
Figura 8: Alívio de tensão por vibração, executado na região de reparo da solda	24
3.4.1. Reinspeção	24
Figura 9: Gráfico de Comparação da Dureza Antes e Depois do Alívio de Tensões	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1. Inspeção Visual	25
4.2. Partículas Negativas	25
4.3. Ultrassom	25
5 CONCLUSÃO	27
6 REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

Os geradores de vapor são peças centrais em processos industriais que envolvem grandes quantidades de energia térmica, como na indústria petroquímica, siderúrgica e de geração de energia elétrica. Esses equipamentos são responsáveis por produzir vapor que

movimenta turbinas, além de desempenhar papel fundamental em sistemas de aquecimento e processamento de materiais. Sua operação em ambientes de altas temperaturas e pressão os torna especialmente suscetíveis a falhas e descontinuidades estruturais, especialmente em juntas soldadas, que são frequentemente expostas a esforços mecânicos e térmicos intensos (Dreyfus, 2019).

Uma das principais preocupações na manutenção de geradores de vapor é a ocorrência de descontinuidades, como trincas, que podem ser provocadas por diversos fatores, incluindo fadiga do material, deformação térmica e corrosão. Segundo Cunha e Silva (2019), “as descontinuidades em estruturas soldadas representam uma ameaça direta à segurança operacional do equipamento e devem ser monitoradas e corrigidas melhoradas”. No contexto da SDS Siderúrgica, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais, o Gerador de Vapor BVG-13000 apresentou quatro trincas transversais na junta soldada circunferencial C2, exigindo intervenção imediata para evitar falhas graves no sistema. A identificação precoce dessas trincas foi crucial para garantir que o equipamento permaneça operacional e seguro, evitando paradas de produção que poderiam resultar em prejuízos consideráveis.

O processo de reparo de descontinuidades em equipamentos de grande porte, como geradores de vapor, envolve técnicas avançadas de soldagem e ensaios de controle de qualidade. No caso do BVG-13000, o reparo foi realizado utilizando o processo de soldagem SMAW (Shielded Metal Arc Welding), extremamente reconhecido por sua eficiência em ambientes industriais. Esse processo é frequentemente escolhido por suas intenções, permitindo soldagens em diferentes posições e materiais com diversas espessuras (Kersten, 2016). O uso do material de adição AWS E 8018 B2,

especificamente selecionado para esse tipo de aplicação, foi essencial para garantir que as propriedades mecânicas da solda sejam alinhadas com as necessidades de resistência e durabilidade impostas pelas condições operacionais do equipamento (Moreira, 2020).

Além disso, após o processo de soldagem, foi realizado o tratamento de rompimento por vibração. Esse procedimento tem como objetivo reduzir os estresses residuais gerados durante a soldagem, o que é particularmente importante para minimizar o risco de deformações ou trincas subsequentes na região soldada (Silva, 2021). Conforme destacado por Santos (2021), "o colapso de tensão por vibração é uma técnica eficaz para melhorar a integridade estrutural de soldas em equipamentos críticos, como geradores de vapor, prolongando sua vida útil e garantindo segurança operacional".

Para garantir que o reparo foi bem-sucedido, foram realizados Ensaios Não Destrutivos (END) antes e após o processo de entrega, obedecendo aos mais rigorosos padrões de controle de qualidade. Ensaios como inspeção visual, partículas magnéticas e ultrassom foram aplicados para detectar possíveis falhas ou discontinuidades invisíveis a olho nu (Garcia, 2020). Estes métodos permitiram uma avaliação precisa das condições de solda, garantindo que o reparo tivesse atendido aos requisitos de segurança e desempenho. Além disso, uma análise metalográfica realizada após o reparo apresentou uma visão detalhada da microestrutura da solda, confirmando a qualidade do material utilizado e a ausência de falhas internas que prejudicaram o desempenho do gerador.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os métodos de inspeção e reparo das discontinuidades detectadas no Gerador de Vapor BVG-13000, destacando a importância de um controle de qualidade rigoroso durante todo o processo de manutenção. A combinação de técnicas avançadas de engenharia, ruptura de ruptura por vibração e Ensaios Não Destrutivos foi essencial para garantir a segurança e a longevidade do equipamento, conforme evidenciado pelos resultados obtidos. Esse estudo também busca contribuir para o aprimoramento das práticas de manutenção na área de engenharia, fornecendo uma visão aprofundada sobre os desafios enfrentados no reparo de geradores de vapor de grande porte, bem como as soluções técnicas aplicadas para garantir sua integridade operacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.Importância dos Geradores de Vapor nas Indústrias

Os geradores de vapor são componentes críticos em diversas indústrias, como na geração de energia elétrica, petroquímica e refinarias, sendo responsáveis pela produção de vapor necessário para movimentar turbinas ou realizar processos industriais. A operação desses equipamentos envolve condições extremas de temperatura e pressão, tornando-os suscetíveis a danos estruturais ao longo do tempo. Descontinuidades, como trincas e outros defeitos nas juntas soldadas, são comuns devido ao estresse mecânico e térmico acumulado, o que reforça a importância de um monitoramento contínuo e de reparos eficazes.

2. 2. Descontinuidades em Juntas Soldadas Circunferenciais

A junta soldada circunferencial C2, em especial, desempenha um papel crucial na integridade estrutural do Gerador de Vapor BGV-13000. As tensões geradas durante a operação podem resultar em falhas nesta região, tornando-a uma área crítica para inspeção e reparo. Trincas e outros defeitos podem se desenvolver devido a fatores como fadiga, corrosão e deformação térmica, e, se não forem tratados a tempo, podem comprometer a segurança do equipamento. Além disso, reparos mal executados podem introduzir novos defeitos ou aumentar o estresse residual na estrutura, piorando a condição do gerador.

2. 3. Métodos de Reparo de Soldas em Geradores de Vapor

A reparação de soldas em geradores de vapor requer técnicas sofisticadas e conhecimento especializado. Um dos principais desafios ao realizar reparos em equipamentos de grande porte como o BGV-13000 é garantir que o processo de

soldagem seja realizado de forma a minimizar o risco de novas falhas. O uso de materiais adequados e a aplicação de procedimentos de soldagem corretos, baseados em normas técnicas, são fundamentais. Como menciona Dreyfus (2019), "a soldagem não é apenas um processo técnico, mas uma arte que requer habilidade e conhecimento", o que se traduz na necessidade de soldadores altamente qualificados para esse tipo de reparo.

Além disso, técnicas como o alívio de tensões por vibração têm sido aplicadas para reduzir o estresse residual nas regiões soldadas, assegurando a qualidade e durabilidade do reparo. Essa técnica visa diminuir deformações e tensões residuais geradas pelo calor da soldagem, promovendo uma distribuição mais homogênea das tensões na estrutura.

2. 4. Ensaaios Não Destrutivos (END) e Verificação da Integridade

Os ensaios não destrutivos (END) são ferramentas indispensáveis para garantir a integridade de equipamentos como os geradores de vapor. Estes métodos permitem uma avaliação minuciosa da integridade estrutural sem a necessidade de desmontagem ou destruição do equipamento. Após o reparo da junta soldada C2, é necessário verificar a eficácia do trabalho realizado. Técnicas como a inspeção visual, partículas magnéticas e ultrassom são amplamente utilizadas para esse fim.

2. 4. 1. Inspeção Visual

A inspeção visual é a primeira linha de defesa na detecção de discontinuidades. Segundo Juvêncio (2018), este método é um dos mais amplamente utilizados e consiste em uma avaliação inicial de defeitos visíveis, como trincas, porosidades e corrosão. Mesmo sendo um método simples, ele é essencial para a identificação de falhas superficiais e para a definição de outros ensaios complementares.

2. 4. 2. Partículas Magnéticas

O método de partículas magnéticas é eficiente para a detecção de trincas superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. Segundo Lima (2017), "a técnica de partículas magnéticas se destaca por sua rapidez e precisão na identificação de falhas em materiais que compõem grandes estruturas, como geradores de vapor". O procedimento envolve a aplicação de um campo magnético e um pó metálico que se concentra nas regiões com falhas, tornando-as visíveis. Sendo assim, uma escolha comum para a inspeção de soldas em geradores de vapor.

2. 4. 3. Ultrassom

O ultrassom é amplamente utilizado para a detecção de descontinuidades internas em soldas e componentes espessos, fornecendo uma análise profunda sem danificar o material. De acordo com Santos (2019), "o ensaio ultrassônico é crucial para a avaliação da integridade estrutural interna, permitindo detectar falhas que não seriam visíveis por métodos superficiais". Este método utiliza ondas sonoras de alta frequência que refletem nas descontinuidades internas, sendo uma ferramenta confiável na verificação da qualidade da soldagem, garantindo uma avaliação mais profunda da integridade estrutural após o reparo.

Conforme destaca Silva (2020), "os ensaios não destrutivos desempenham um papel crucial na manutenção da integridade de equipamentos", já que permitem identificar falhas sem comprometer a funcionalidade do gerador, o que é fundamental em contextos onde a parada de operação gera altos custos e riscos.

2. 5. Reparo de Soldas em Geradores de Vapor

O reparo de soldas é um processo delicado, que requer planejamento adequado e uma execução precisa, especialmente em estruturas de grande porte. A metodologia para reparo das descontinuidades em geradores de vapor, como no caso do BGV-13000,

envolve a remoção das falhas identificadas e a reconstituição das juntas soldadas (OLIVEIRA 2021).

Por meio deste estudo, a análise dos métodos de reparo aplicados ao Gerador de Vapor BGV-13000, em conjunto com os ensaios não destrutivos, visa contribuir para a validação e aprimoramento das práticas de manutenção. A eficiência dos processos empregados pode ser avaliada com base nos resultados dos ENDs, que fornecerão informações essenciais sobre a qualidade das soldas e sua capacidade de resistir às condições operacionais severas.

A incorporação de tecnologias avançadas para monitoramento contínuo, aliada à utilização de técnicas modernas de reparo, pode aumentar a confiabilidade dos geradores

de vapor e, conseqüentemente, reduzir os custos com paradas emergenciais e manutenções corretivas. Isso reforça a importância de investimentos em treinamento especializado e em técnicas de inspeção de alta precisão para garantir a durabilidade desses equipamentos.

2. 5. 1. Procedimentos de Soldagem

A soldagem de reparo, utilizando técnicas como o SMAW (Shielded Metal Arc Welding), é amplamente empregada em geradores de vapor. De acordo com Kersten (2016), "o SMAW é o processo de soldagem mais adequado para reparos em ambientes com restrições de espaço, além de ser eficiente em condições adversas, como altas temperaturas". Este processo é favorecido devido à sua versatilidade e à resistência mecânica das soldas geradas, o que é essencial em equipamentos sujeitos a altos níveis de estresse térmico e mecânico.

2. 5. 2. Alívio de Tensões

O alívio de tensões é uma etapa crítica após a soldagem. O processo de soldagem gera tensões residuais no material, o que pode levar ao surgimento de novas trincas se não tratado adequadamente. Técnicas de alívio de tensões, como vibração mecânica, são amplamente empregadas para distribuir uniformemente as tensões no material. Segundo Moreira (2020), "o alívio de tensões por vibração é uma alternativa eficaz ao tratamento térmico convencional, especialmente em estruturas de grande porte".

2. 6. Metalografia e Controle de Qualidade

A análise metalográfica das soldas serve para avaliar a qualidade do material e a microestrutura resultante. Essa análise permite verificar a coesão de solda e a presença de eventuais descontinuidades internas. As amostras e provas específicas foram preparadas, permitindo uma avaliação das propriedades mecânicas e estruturais da solda, como mostrada nas figuras 1 e 2 (análise metalográfica da estrutura).

A escolha do eletrodo 80B2 foi baseada em um ensaio metalográfico, que demonstrou que suas propriedades são as que mais se aproximam do material do metal de base.

Isso ocorre devido às afinidades e características de soldagem desse eletrodo. Além disso, ele foi selecionado com base nos seguintes fatores:

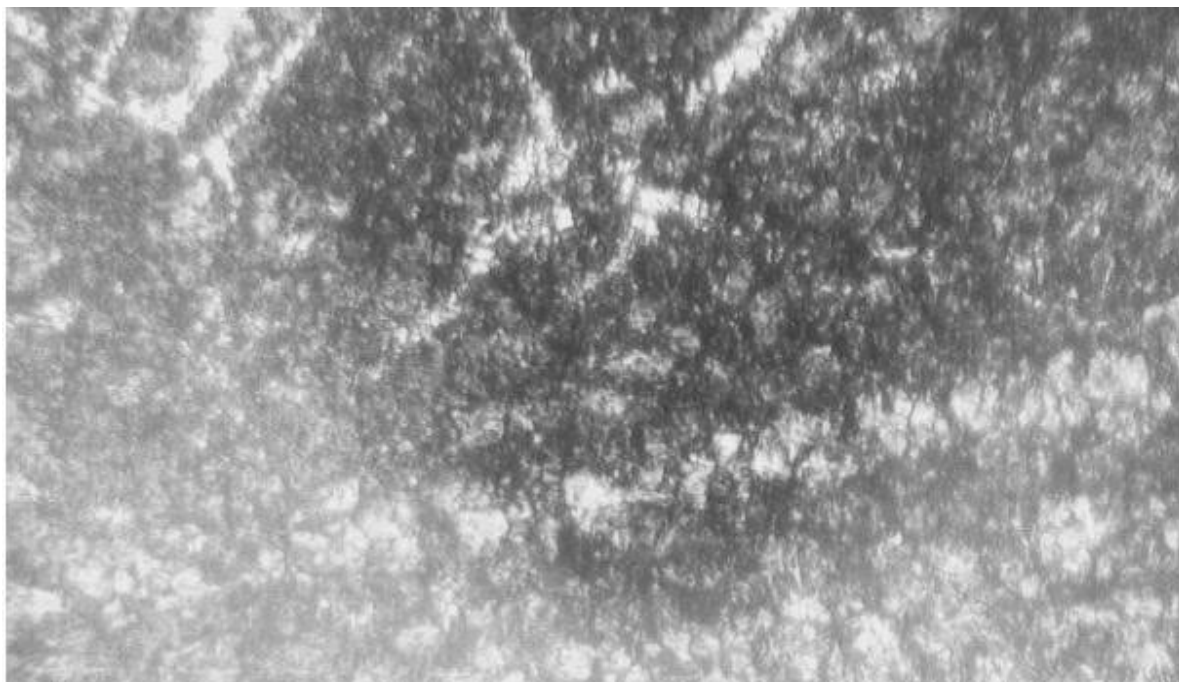
Histórico da Caldeira: O eletrodo foi escolhido em função das condições específicas do equipamento.

Propriedades típicas do depósito: O eletrodo apresenta um limite de escoamento de 460 MPa e uma resistência à tração de 550 MPa, o que o torna adequado para as exigências do material.

Faixa de dilatação e idade do material: De acordo com o histórico da caldeira flamotubular, o material envelhecido e sua faixa de dilatação também influenciaram na escolha do eletrodo.

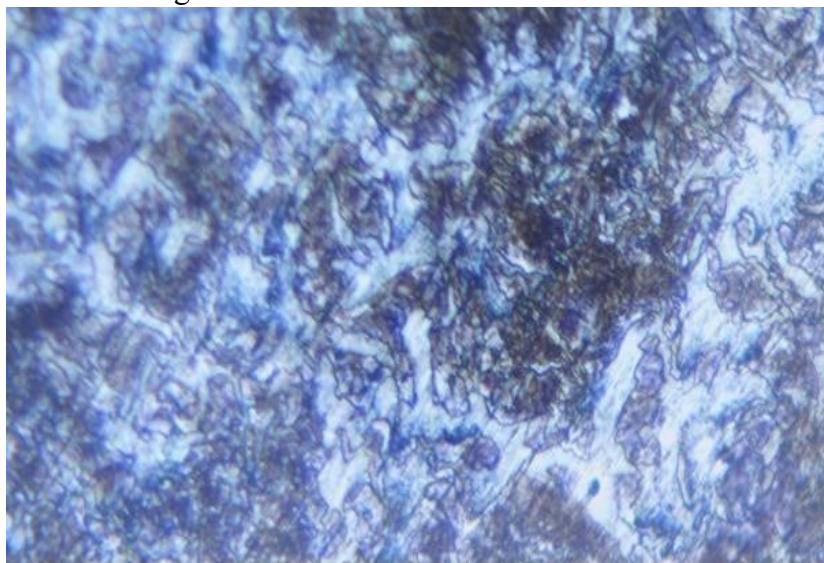
A análise metalográfica é essencial para garantir que o reparo realizado atende aos padrões de qualidade exigidos. Esta técnica permite avaliar a microestrutura do material e identificar possíveis descontinuidades internas. Como afirmam Cunha e Silva (2019), "a análise metalográfica fornece uma visão detalhada das propriedades mecânicas da solda, sendo uma ferramenta imprescindível para garantir a qualidade do reparo".

Figura 1: Análise metalográfica da microestrutura



Fonte: autoria própria

Figura 2: Análise metalográfica da microestrutura



Fonte: autoria própria

2. 7. Normas Técnicas e Procedimentos

A adoção de normas técnicas é um ponto central na garantia da qualidade dos reparos em equipamentos industriais. A ASME SEC.IX/2010 é uma das normas amplamente utilizadas no setor de soldagem, garantindo que os processos sejam realizados de acordo com especificações rigorosas. Conforme Oliveira (2021), "a conformidade com normas internacionais, como a ASME, assegura a padronização dos procedimentos e a segurança das operações".

Normas técnicas e procedimentos são fundamentais para garantir a qualidade e segurança em processos de reparo e fabricação, especialmente na soldagem de equipamentos industriais. A ASME Seção VIII (parte do Código de Caldeiras e Vasos de Pressão da ASME) é uma das mais utilizadas no setor para este fim. Já para qualificar procedimentos de soldagem e qualificação de soldadores, utiliza código ASME SEC. IX, além de qualificar soldadores e operadores. Esta norma é aplicada em equipamentos sujeitos a pressão, como caldeiras, tubulações e vasos de pressão, garantindo que os processos sigam padrões rigorosos de segurança e qualidade.

Os procedimentos de soldagem são qualificados com base em ensaios que incluem testes de tração, dobramento e dureza, conforme estabelecido pela norma, o que assegura que o soldador ou operador pode realizar a soldagem com segurança e dentro dos padrões exigidos (PetroSync 2024) (Metalworking 2024).

Além disso, a escolha dos consumíveis, a espessura e o material das peças de teste também devem seguir padrões específicos. A ASME Sec. IX classifica os materiais em "números P" (número de soldabilidade), o que facilita a utilização de materiais similares durante a qualificação. Esses requisitos são cruciais para garantir que o processo de soldagem seja adequado ao tipo de equipamento, maximizando a segurança e a eficiência do reparo ou fabricação (PetroSync 2024).

Normas como a API 1104 (dedicada à soldagem de oleodutos) e a AWS D1.1 (voltada para estruturas metálicas) também têm grande importância em setores específicos, reforçando a relevância de seguir procedimentos qualificados em diversas aplicações industriais (Metalworking 2024).

Essa padronização garante que o trabalho siga as melhores práticas globais, promovendo a segurança e confiabilidade das operações.

2. 8. Segurança no Processo de Soldagem

A segurança é um fator imprescindível em qualquer processo de reparo. Oliveira (2021) destaca que "a segurança dos trabalhadores durante o processo de soldagem é tão importante quanto a qualidade da solda em si", evidenciando a necessidade de adoção de medidas de proteção durante a execução dos reparos. Além disso, o monitoramento da saúde ocupacional dos soldadores, especialmente em ambientes adversos, é uma questão prioritária para garantir um ambiente de trabalho seguro e eficaz.

A segurança na soldagem de geradores de vapor é fundamental devido às condições extremas de operação e aos riscos associados. A adoção de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como máscaras, luvas e roupas resistentes ao fogo, é crucial para proteger os trabalhadores contra queimaduras e inalação de fumaças tóxicas. O monitoramento da saúde ocupacional é igualmente importante, uma vez que a exposição a gases e radiações pode acarretar problemas de saúde a longo prazo. Além disso, é essencial implementar treinamentos que garantam o uso correto dos EPIs e que preparem os trabalhadores para situações de emergência. Medidas robustas de segurança não apenas protegem os soldadores, mas também asseguram a qualidade e a confiabilidade das operações em geradores de vapor, minimizando riscos de falhas e aumentando a durabilidade dos equipamentos (NIOSH 2024) (OSHA 2024).

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a análise e reparo das descontinuidades no Gerador de Vapor BGV-13000 envolveu uma série de etapas sistemáticas que garantiram a integridade e a qualidade do equipamento. As principais fases deste processo foram:

3.1. Inspeção Inicial e Identificação de Descontinuidades:

O primeiro passo foi a realização de uma inspeção visual detalhada da junta soldada circunferencial C2, onde foram identificadas quatro trincas transversais. Esta etapa inicial é fundamental para avaliar a extensão dos danos e definir o escopo da intervenção necessária, como mostrado nas figuras 3 (processo de inspeção visual na junta soldada) e 4 (trincas detectadas na caldeira flamotubular).

Figura 3: Processo de inspeção visual na junta soldada.



Fonte: autoria própria.

Figura 4: Trincas detectadas na caldeira flamotubular



Fonte: autoria própria

3.2. Ensaio Não Destrutivo (END):

Para uma avaliação mais aprofundada da integridade das soldas, foram realizados diversos ensaios não destrutivos, conforme as normas técnicas aplicáveis.

Os métodos utilizados incluíram:

- Inspeção Visual: Realizada para detectar descontinuidades superficiais e trincas visíveis.

- Partículas Magnéticas: Utilizadas para identificar trincas superficiais e subsuperficiais, logo abaixo da superfície até 3,5 mm em materiais ferromagnéticos.

- Ultrassom: Empregado para detectar descontinuidades internas e avaliar a espessura do material.

3.2.1. Escolha do Ultrassom em Relação ao Raio-X

Para avaliar uma espessura de 32 mm utilizando Raio-X, seria necessário um equipamento com uma fonte de, no mínimo, 70 curies. Além disso, o procedimento exigiria o isolamento da área devido ao risco de contaminação por radiação, o que obrigaria a paralisação das atividades da empresa ou a realização do ensaio durante o período noturno. Essas condições resultariam em um aumento significativo dos custos operacionais.

Outra desvantagem do Raio-X é que, para essa espessura e pela orientação das trincas, elas não seriam facilmente detectadas. Por outro lado, o ultrassom, utilizando um cabeçote angular, poderia identificar as trincas com mais facilidade. No caso específico de uma trinca na SC2, o Raio-X provavelmente não a detectaria, pois ela estaria perpendicular à normal da superfície de ensaio. Já o ultrassom, com o uso de ondas transversais, seria capaz de identificar essa trinca de maneira eficiente

3.3. Reparo das Descontinuidades:

Após a identificação das trincas, o próximo passo foi a execução do reparo que envolveu:

A remoção das trincas transversais conforme especificado no Procedimento de Soldagem (EPS) nº 001/20, de acordo com a ASME SEC.IX/2010.

Processo de Soldagem: O reparo foi realizado utilizando o processo de soldagem SMAW (Shielded Metal Arc Welding), empregando material base ASTM A285 GrB e material de adição AWS E8018 B2 (NC 80B2). O SMAW é amplamente utilizado na indústria devido à sua versatilidade, permitindo soldagens em diferentes posições e com várias espessuras de material. Este processo se destaca pela capacidade de operar em ambientes com condições adversas e pela alta qualidade das juntas resultantes. O material de adição AWS E8018 B2 foi escolhido por sua excelente resistência e tenacidade, características essenciais para a durabilidade das soldas em aplicações críticas

como em geradores de vapor (KERSTEN, 2016).

- Regulagem da amperagem da máquina de solda conforme procedimento de soldagem, como mostra a figura 5.
- A aplicação de soldagem para restaurar a integridade da junta, seguindo as melhores práticas e normas técnicas do setor como mostra a figura 6, do processo de soldagem SMAW em ação.
- O controle de temperatura de soldagem foi aplicado antes e durante o processo de soldagem, conforme EPS ilustrado na figura 7.

Figura 5: Regulagem da amperagem da máquina de solda



Fonte: autoria própria

Figura 6: Processo de soldagem SMAW em ação



Fonte: autoria própria

Figura 7: Controle de temperatura durante o processo de soldagem e enchimento do reparo

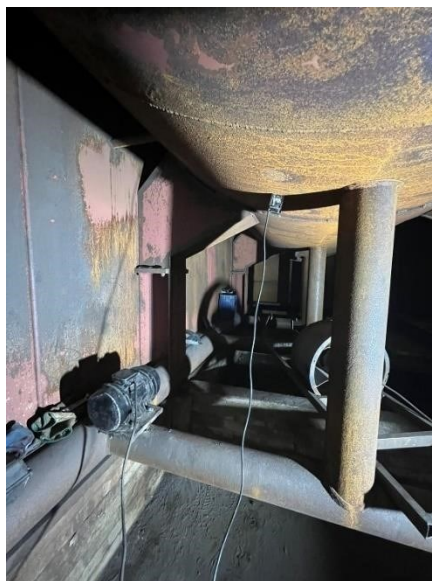


Fonte: autoria própria

3.4. Alívio de Tensões:

Para garantir a qualidade do reparo e evitar o reaparecimento de trincas, foi realizado o alívio de tensões através do processo de vibração, como mostra a figura 8. Este procedimento é essencial para minimizar a possibilidade de reaparecimento ou surgimento de novas trincas no material soldado, bem como suas Z.T.A. (zona termicamente afetada).

Figura 8: Alívio de tensão por vibração, executado na região de reparo da solda.



Fonte: autoria própria

3.4.1. Reinspeção:

Após a conclusão do reparo e alívio de tensões, foram realizados novos ensaios não destrutivos (partículas magnéticas e ultrassom) para verificar a eficácia do reparo e assegurar que não houvesse novas descontinuidades. A análise foi acompanhada por laudos de inspeção que atestaram a qualidade do trabalho realizado. A figura 9 mostra um comparativo antes e depois do alívio de tensões.

Figura 9: Gráfico de Comparação da Dureza Antes e Depois do Alívio de Tensões.



Fonte: produzido por IA

Essa abordagem metodológica, que combina inspeção rigorosa e reparo técnico, é fundamental para assegurar a segurança e a funcionalidade dos geradores de vapor, promovendo uma operação eficiente e confiável. Como enfatiza Garcia (2020), "um controle de qualidade rigoroso é imprescindível em processos de soldagem, pois pequenas falhas podem ter consequências significativas".

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante a inspeção e reparo do Gerador de Vapor BGV13000 são fundamentais para compreender a eficácia dos métodos aplicados e a integridade final do equipamento. Durante as etapas de inspeção inicial, foram identificadas quatro trincas transversais na junta soldada circunferencial C2, que apresentavam potencial para comprometer a segurança e eficiência do gerador.

Após a remoção das trincas e a aplicação do processo de soldagem SMAW, as juntas foram submetidas a novos ensaios não destrutivos. Os resultados destes ensaios foram significativos, nos quais foram atestados no laudo de inspeção.

As seguintes condições foram observadas:

4.1. Inspeção Visual: A inspeção visual pós-reparo não identificou trincas visíveis ou irregularidades na junta soldada, indicando que a intervenção foi realizada com sucesso.

4.2. Partículas Magnéticas: Não foram detectadas descontinuidades na superfície da solda, confirmando a eficácia do reparo. A aplicação do pó magnético revelou a qualidade da soldagem e a ausência de falhas superficiais.

4.3 Ultrassom: Os resultados do ensaio ultrassônico mostraram que não havia descontinuidades internas, o que é crucial para garantir a segurança do gerador em operação. O uso do ultrassom foi fundamental, pois permite a detecção de falhas que não são visíveis à inspeção visual e por partículas magnéticas.

Esses resultados são corroborados por estudos que destacam a importância dos ensaios não destrutivos na manutenção de equipamentos críticos. Como afirmado por Silva (2020), "os ensaios não destrutivos desempenham um papel crucial na manutenção da integridade de equipamentos, permitindo identificar falhas sem comprometer sua funcionalidade".

Além disso, o alívio de tensões realizado por meio de vibração se mostrou eficaz, pois contribuiu para minimizar o risco de deformações ou reaparecimento de trincas. O sucesso dessa técnica é apoiado pela literatura, que enfatiza a importância de métodos adequados de alívio de tensões para a durabilidade das soldas (GARCIA, 2020).

A análise dos resultados evidencia que os métodos de inspeção e reparo empregados foram bem-sucedidos na restauração da integridade estrutural do Gerador de Vapor BGV-13000. O processo não apenas garantiu a retomada plena da funcionalidade do equipamento, mas também reforçou a segurança operacional, permitindo a continuidade das atividades na SDS Siderúrgica sem interrupções. Esses resultados destacam a importância de seguir práticas rigorosas de inspeção e reparo na indústria, além de enfatizar a relevância de um controle de qualidade minucioso para evitar falhas recorrentes e garantir a durabilidade e confiabilidade dos equipamentos.

5. CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho reforça a importância vital de um rigoroso processo de inspeção e reparo em geradores de vapor, componentes essenciais em setores como energia e siderurgia. O estudo de caso do Gerador de Vapor BGV-13000, operando na SDS Siderúrgica, revelou o sucesso das técnicas empregadas, particularmente o uso de Ensaios Não Destrutivos (END) e do processo de soldagem SMAW. Esses métodos foram fundamentais para restaurar a integridade estrutural do equipamento, garantindo sua continuidade operacional.

Os ensaios utilizados – inspeção visual, partículas magnéticas e ultrassom demonstraram ser decisivos na identificação e correção das falhas presentes, garantindo que as trincas na junta soldada circunferencial C2 fossem eliminadas sem comprometer a segurança. A técnica de alívio de tensões por vibração também se provou eficiente ao reduzir o estresse residual, prevenindo novas falhas.

Além disso, o trabalho ressalta a importância da conformidade com normas técnica como a ASME Sec. IX, que assegura que os reparos sejam realizados dentro dos mais altos padrões de segurança e qualidade. A segurança dos trabalhadores foi outro aspecto central, com destaque para a necessidade do uso correto dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e o monitoramento contínuo da saúde ocupacional, reforçando a segurança no ambiente de trabalho.

Em última análise, este trabalho não apenas apresentou soluções eficazes para a recuperação do Gerador de Vapor BGV-13000, mas também contribuiu para o avanço das práticas de manutenção em soldagem. Ao aliar tecnologia avançada, controle de qualidade e práticas padronizadas, ele assegura a longevidade dos equipamentos e a redução de custos e riscos, demonstrando como a engenharia de soldagem desempenha um papel crucial na manutenção da segurança e eficiência das operações industriais.

6. REFERÊNCIAS

ASME. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX: Welding and Brazing Qualifications. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2010.

BRASIL. Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho. Brasília: Ministério do Trabalho, 2019.

DREYFUS, Roberto. A Soldagem e Seus Desafios na Indústria Moderna. São Paulo: Editora Inventiva, 2019.

FONTE, José A. Ensaaios Não Destrutivos: Fundamentos e Aplicações. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.

GARCIA, Felipe. Controle de Qualidade na Soldagem: Teoria e Prática. São Paulo: Editora Manole, 2020.

KERSTEN, André. Soldagem: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

OLIVEIRA, Carlos. Segurança e Saúde no Trabalho de Soldagem. Rio de Janeiro: Ed.Senai, 2021.

SILVA, Mariana. Métodos de Ensaio Não Destrutivos na Indústria. Belo Horizonte:

Editora UFMG, 2020.

VÁSQUEZ, Marcos. Tecnologia da Soldagem. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

AWS. AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code—Steel. Miami: American Welding Society, 2010.

CUNHA, L., & SILVA, R. Técnicas de Metalografia Aplicadas à Soldagem. São Paulo:

Editora Técnica.

GARCIA, F. Controle de Qualidade em Soldagem Industrial. Rio de Janeiro: Engenharia Industrial Press.

JUVENCIO, P. Ensaio Não Destrutivo: Métodos e Aplicações. São Paulo: Edusp. 14. KERSTEN, M. SMAW e Seus Aplicativos na Indústria. Porto Alegre:

Editora Metalúrgica.

LIMA, T. Partículas Magnéticas: Uma Abordagem Prática. Belo Horizonte:

Editora Técnica Industrial.

MOREIRA, J. Alívio de Tensões em Estruturas Soldadas: Técnicas Modernas.

Curitiba: Editora Engenharia.

OLIVEIRA, A. Segurança em Processos de Soldagem: Aspectos Críticos. Recife: Editora Industrial.

SANTOS, C. Ensaaios Ultrassônicos: Teoria e Prática. Florianópolis: Editora Engenho.

PETROSYNC. Normas ASME Sec. IX e sua Aplicação na Soldagem Industrial.

Acesso em: 02 de outubro de 2024. Disponível em: PetroSync.

GELSON LUZ METALWORKING. Procedimentos de Soldagem e Normas ASME.

Acesso em: 02 de outubro de 2024. Disponível em: Gelson Luz Metalworking.