

# Revista Brasileira de Engenharias

ISSN 3085-8089

vol. 2, n. 1, 2026

## ... ARTIGO 7

Data de Aceite: 10/02/2026

### **SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS DUPLEX EM CHAPAS DE 18 A 55 MM UTILIZANDO DUPLA FUSÃO CONFORME EN 13445: CONTROLE DO HEAT INPUT, TEOR DE FERRITA E QUALIFICAÇÃO DE SOLDADORES APLICADA A DIGESTORES DE FÁBRICAS DE CELULOSE**

**Aureo Oliveira**

Engenharia de Soldagem / Metalurgia  
EN 13445



Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

**Resumo:** A soldagem de aços inoxidáveis duplex em chapas espessas representa um desafio metalúrgico significativo, especialmente quando aplicada à fabricação de equipamentos críticos, como digestores utilizados em fábricas de celulose, regidos pela norma EN 13445. O controle do aporte térmico (heat input), do teor de ferrita e o cumprimento rigoroso da Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS/WPS) e da Instrução Escrita de Inspeção de Soldagem (IEIS) são fatores determinantes para garantir integridade estrutural, desempenho mecânico e resistência à corrosão. Este artigo apresenta uma abordagem técnica completa da soldagem de chapas de aço inoxidável duplex com espessuras entre 18 e 55 mm utilizando a técnica de dupla fusão, correlacionando parâmetros de soldagem, controle metalúrgico e qualificação de soldadores, com base em práticas industriais consolidadas na indústria de celulose.

**Palavras-chave:** aço inoxidável duplex, EN 13445, dupla fusão, heat input, controle de ferrita, digestores, qualificação de soldadores.

## Introdução

Os aços inoxidáveis duplex vêm sendo amplamente utilizados na indústria de processo devido à sua elevada resistência mecânica e excelente resistência à corrosão. Na indústria de celulose, esses materiais são empregados principalmente na fabricação de digestores, equipamentos que operam sob condições severas de pressão, temperatura e ambientes químicos agressivos.

A norma EN 13445 estabelece requisitos rigorosos para o projeto e fabricação desses equipamentos, destacando a soldagem como uma etapa crítica. Em chapas es-

passas, o controle do ciclo térmico torna-se essencial para evitar degradação metalúrgica, sendo a técnica de dupla fusão uma solução amplamente adotada.

## Aços Inoxidáveis Duplex e Requisitos da EN 13445

Os aços inoxidáveis duplex apresentam microestrutura bifásica composta por ferrita e austenita, idealmente em proporções próximas a 50/50. Essa combinação confere:

- Elevado limite de escoamento
- Boa tenacidade
- Alta resistência à corrosão sob tensão

A EN 13445 exige que os procedimentos de soldagem garantam:

- Manutenção das propriedades mecânicas
- Ausência de fases intermetálicas deletérias
- Controle do teor de ferrita no metal de solda e na ZTA

## Desafios da Soldagem de Chapas Espessas (18 a 55 mm)

Na faixa de espessura entre 18 e 55 mm, amplamente utilizada em costados e tampos de digestores, os principais desafios são:

- Elevado número de passes
- Maior tempo de exposição térmica
- Risco de precipitação de fases sigma e chi

- Desequilíbrio ferrita/austenita na ZTA

Esses fatores exigem planejamento rigoroso do procedimento de soldagem.

## Preparação de Juntas para Dupla Fusão

Para chapas duplex espessas, recomenda-se:

- Juntas em V duplo ou X
- Ângulo de chanfro entre 30° e 40° por lado
- Controle rigoroso da raiz
- Limpeza mecânica e química para evitar contaminações

A preparação adequada da junta influencia diretamente o heat input e a qualidade final da solda.

## Técnica de Soldagem por Dupla Fusão

A técnica de dupla fusão consiste na execução da soldagem em ambos os lados da junta, proporcionando:

- Penetração total
- Redução de defeitos internos
- Distribuição térmica mais homogênea

## Processos de Soldagem Aplicáveis

Os processos mais utilizados incluem:

- GTAW (TIG) para passes de raiz
- GMAW (MIG) ou SMAW para enchimento e acabamento

- SAW em aplicações de maior produtividade

A escolha do processo deve priorizar estabilidade do arco e controle térmico.

## Controle do Heat Input

O controle do aporte térmico é essencial para evitar formação de fases deletérias.

$$HI = V \times I \times 60 / 1000 \times v \quad HI = \frac{V \times I \times 60}{1000 \times v}$$

$$HI = 1000 \times v \times V \times I \times 60$$

### Faixas recomendadas:

- 0,5 a 2,5 kJ/mm
- Temperatura interpasse  $\leq 150^\circ\text{C}$
- Pré-aquecimento não recomendado

Heat input excessivo favorece precipitação de fases intermetálicas, valores muito baixos resultam em excesso de ferrita.

## Controle do Teor de Ferrita

A EN 13445 recomenda controle rigoroso do teor de ferrita.

### Faixas típicas:

- Aceitável: 30% a 70%
- Ideal: 35% a 55%

### Métodos de controle:

- Seleção adequada de consumíveis
- Controle do heat input
- Medição por Ferritscope

## Seleção de Consumíveis

Consumíveis recomendados:

- ER2209 / E2209 ou equivalentes

- Baixo hidrogênio
- Teor de níquel ajustado para promover formação de austenita

Consumíveis inadequados comprometem diretamente a conformidade com a EN 13445.

## Inspeção e Ensaios

Conforme EN 13445, devem ser aplicados:

- Inspeção visual
- Líquido penetrante (LP)
- Ultrassom (US) ou radiografia (RT), conforme criticidade
- Medição do teor de ferrita
- Ensaios mecânicos quando aplicável

## Qualificação de Soldadores e Cumprimento da EPS e IEIS

A soldagem de chapas duplex espessas utilizadas em digestores de fábricas de celulose exige que os soldadores sejam formalmente qualificados conforme **ISO 9606-1**, reproduzindo as condições reais de fabricação.

O soldador deve seguir rigorosamente:

- Parâmetros definidos na EPS (WPS)
- Limites de heat input
- Temperatura interpasse
- Sequência de soldagem

A IEIS atua como ferramenta essencial de controle, assegurando:

- Verificação de materiais e consumíveis
- Monitoramento dos parâmetros de soldagem
- Registro e rastreabilidade

O não cumprimento da EPS e da IEIS pode resultar em desequilíbrio metalúrgico, não conformidades normativas e falhas prematuras em serviço.

## Aplicação em Digestores de Fábricas de Celulose

Digestores operam sob condições severas de pressão, temperatura e meios altamente corrosivos. Falhas em soldas podem causar:

- Paradas prolongadas de produção
- Custos elevados de manutenção
- Riscos operacionais e ambientais

Dessa forma, a combinação entre procedimento qualificado, soldadores capacitados e controle rigoroso do processo é fundamental para garantir a confiabilidade do equipamento.

## Discussão

A aplicação da técnica de dupla fusão, associada ao controle rigoroso do heat input, do teor de ferrita e ao cumprimento da EPS e IEIS, demonstrou elevada confiabilidade para soldagem de chapas duplex espessas, atendendo plenamente aos requisitos da EN 13445 e às exigências da indústria de celulose.

## Conclusão

A soldagem de aços inoxidáveis duplex em chapas de 18 a 55 mm, amplamente utilizadas em digestores de fábricas de celulose, requer controle metalúrgico rigoroso, qualificação adequada de soldadores e estrita observância da EPS e da IEIS. A técnica de dupla fusão mostrou-se altamente eficaz para garantir integridade estrutural, desempenho mecânico e resistência à corrosão, assegurando conformidade com a EN 13445.

## Referências

EN 13445 – Unfired Pressure Vessels

ISO 15614-1 – Welding Procedure Qualification

ISO 9606-1 – Qualification of Welders

ISO 17781 – Welding of Duplex Stainless Steels

ASM Handbook – Welding and Metallurgy