

Revista Brasileira de Engenharias

ISSN 3085-8089

vol. 2, n. 1, 2026

... ARTIGO 5

Data de Aceite: 04/02/2026

SOLDAGEM DE AÇOS DUPLEX – METALURGIA, PROCESSOS, RISCOS E BOAS PRÁTICAS

Adinailton Dantas dos Santos

Inspetor de Solda N1/LP/PM/US-S2.1



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

Os aços inoxidáveis **duplex** e **superduplex** são amplamente utilizados em ambientes agressivos devido à sua combinação única de **alta resistência mecânica**, **elevada resistência à corrosão localizada** e **boa tenacidade**. Entretanto, essas propriedades só são mantidas quando a **soldagem** é realizada com controle rigoroso de parâmetros, aporte térmico e seleção adequada de consumíveis.

Metalurgia dos aços duplex

Microestrutura

A microestrutura típica é composta por:

- **50% ferrita (α)**
- **50% austenita (γ)**

Esse equilíbrio é essencial para garantir:

Resistência à corrosão sob tensão (SCC)

- Resistência à corrosão por pite e fresta
- Alta resistência mecânica
- Boa ductilidade

Sensibilidade térmica

A faixa crítica de temperatura entre **600 °C e 950 °C** favorece a precipitação de fases indesejadas:

- **Sigma (σ)** – extremamente frágil
- **Chi (χ)**
- **Nitretos de cromo (CrN)**
- **Carbonetos (Cr₂₃C₆)**

Essas fases reduzem drasticamente a tenacidade e a resistência à corrosão.

Desafios metalúrgicos da soldagem

A soldagem altera o equilíbrio ferrita/austenita:

- Resfriamento rápido → **excesso de ferrita**
- Aporte térmico elevado → **formação de fases frágeis**
- Falta de nitrogênio na proteção → **empobrecimento da austenita**

O objetivo é manter a microestrutura final entre:

- **30% a 70% de ferrita**, dependendo da norma e do tipo de duplex

Processos de soldagem recomendados

GTAW (TIG)

- Ideal para raiz e espessuras finas
- Excelente controle da poça
- Permite purga interna com argônio + nitrogênio

GMAW (MIG/MAG)

- Alta produtividade
- Requer controle rigoroso de calor
- Misturas com nitrogênio ajudam a estabilizar a austenita

SMAW (Eletrodo revestido)

- Usado em campo
- Menor controle térmico
- Exige soldadores experientes

FCAW

- Menos comum
- Pode gerar aporte térmico elevado

Seleção de consumíveis

Consumíveis para duplex possuem **maior teor de níquel** para compensar o aumento de ferrita na ZTA.

Metal Base	Consumível Recomendado
Duplex 2205	ER2209
Superduplex 2507	ER2594
Lean Duplex	ER2209 ou equivalente

O teor de níquel é essencial para:

- Reequilibrar a microestrutura
- Aumentar a fração de austenita
- Melhorar resistência à corrosão

Parâmetros críticos de soldagem

Aporte térmico

Faixa recomendada:

- **0,5 a 1,5 kJ/mm** (varia conforme fabricante)

Aporte excessivo → formação de sigma

Aporte insuficiente → excesso de ferrita

Temperatura entre passes

- Duplex: $\leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Superduplex: $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Gás de proteção

- Argônio puro
- Argônio + 2–5% nitrogênio (melhora austenita)
- Purga interna com $\text{O}_2 < 50\text{ ppm}$

Preparação da junta

- Limpeza rigorosa
- Remoção de contaminantes
- Ajuste perfeito para evitar falta de fusão

Falhas típicas na soldagem de duplex

Excesso de ferrita

Causas:

- Resfriamento rápido
- Baixo aporte térmico
- Falta de nitrogênio

Consequências:

- Baixa tenacidade
- Redução da resistência à corrosão

Formação de fase sigma

Causas:

- Aporte térmico elevado
- Temperatura entre passes alta
- Ciclos térmicos prolongados

Consequências:

- Fragilização severa
- Perda de ductilidade

Contaminação da raiz

Causas:

- Purga inadequada
- Oxigênio acima de 50 ppm

Consequências:

- Corrosão acelerada
- Falhas prematuras

Inspeção e controle de qualidade

Ensaaios não destrutivos

- Líquido penetrante
- Ultrassom
- Radiografia
- Visual com boroscópio (em tubulações)

Medição de ferrita

Ferritoscópio ou análise metalográfica.

Faixa típica aceitável:

- **30% a 60% de ferrita** (dependendo da especificação)

Documentação

- Registro de parâmetros
- Certificados de consumíveis
- Relatórios de purga
- Mapas de solda

Normas aplicáveis

- **ASME IX** – qualificação de soldadores e procedimentos
- **AWS D10.18** – soldagem de duplex
- **ISO 17781** – avaliação de corrosão em duplex
- **NORSOK M-601** – requisitos para soldagem em óleo e gás
- **ASTM A923** – detecção de fase sigma

Boas práticas essenciais

- Manter eletrodo de tungstênio afiado (GTAW)
- Evitar contaminação por ferro-carbono
- Controlar rigorosamente a purga interna
- Registrar todos os parâmetros
- Evitar superaquecimento prolongado
- Utilizar consumíveis certificados
- Realizar briefing com a equipe antes da soldagem

Conclusão

A soldagem de aços duplex exige domínio técnico, controle térmico rigoroso e compreensão profunda da metalurgia envolvida. Quando executada corretamente, preserva as propriedades que tornam esses materiais indispensáveis em ambientes agressivos. Por outro lado, falhas no processo podem comprometer seriamente a integridade e a vida útil da estrutura, tornando

indispensável o uso de procedimentos qualificados, consumíveis adequados e inspeções criteriosas.