

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SOLDAGEM MULTIPASSE NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA DO AÇO SUPER DUPLEX UNS S32750

Letícia Coelho dos Santos Porto, porto4548@gmail.com¹

Iasmin Maciel Vieira da Silva, iasmin.maciels@gmail.com¹⁻²

Filipe Gabriel Paiva Oliveira, fg554757@gmail.com¹

Samuel Leite dos Santos, samuelleitesto@gmail.com¹

Douglas Santos Rodrigues Ferreira, douglas.ferreira@ifrj.edu.br¹

André Rocha Pimenta, andre.pimenta@ifrj.edu.br¹⁻²

¹Laboratório de Instrumentação e Simulação Computacional – LISCOMP, Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ, Rua Sebastião Lacerda, s/nº, Centro, Paracambi – RJ, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPG- EM, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rua Fonseca Teles, 121, São Cristóvão, Rio de Janeiro – RJ, Brasil,

Resumo. Com o decorrer do tempo e, conseqüentemente, com os avanços tecnológicos, os aços inoxidáveis têm sido uma peça fundamental nos setores industriais, justamente por possuírem uma resistência significativa à corrosão. Os aços inoxidáveis super duplex (AISD) são amplamente utilizados devido à excelente combinação de alta resistência a corrosão e alta resistência mecânica aliada a uma boa tenacidade. No entanto, quando utilizados em processos que requerem altas temperaturas, como em ciclos térmicos de soldagem, estes aços podem precipitar fases intermetálicas que prejudicam suas propriedades, também podem causar mudanças no balanço de ferrita/austenita e nos formatos dos grãos. O simulador termomecânico Gleeble tornou-se uma ferramenta indispensável para a realização de ensaios com o objetivo de simular ciclos térmicos, os quais são fundamentais para o estudo de materiais soldados. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da soldagem multipasse na microestrutura da zona termicamente afetada do aço inoxidável superduplex. Esperava-se que fases deletérias fossem detectadas, no entanto, não houve sequer uma aparição da mesma.

Palavras chave: Super duplex. ZTA. Gleeble. Fases deletérias.

Abstract. With the passage of time and the consequent technological advancements, stainless steels have become a fundamental component in industrial sectors due to their significant resistance to corrosion. Super duplex stainless steels (SDSS) are widely employed owing to their excellent combination of high corrosion resistance and high mechanical strength, coupled with good toughness. However, when utilized in processes requiring high temperatures, such as thermal cycles during welding, these steels can precipitate intermetallic phases that compromise their properties. Furthermore, it causes changes in the ferrite/austenite balance and grain morphology. The thermomechanical simulator Gleeble has become an indispensable tool for conducting tests aimed at simulating thermal cycles, which are fundamental for studying welded materials. This study aimed to evaluate the effects of multi-pass welding on the microstructure of the heat affected zone of super duplex stainless steel. It was expected that deleterious phases would be detected; however, no such occurrence was observed.

Keywords: Super Duplex, HAZ, Gleeble, Deleterious phases.

1. INTRODUÇÃO

Com o decorrer do tempo e, conseqüentemente, com os avanços tecnológicos, os aços inoxidáveis têm sido uma peça fundamental nos setores industriais, justamente por possuírem uma resistência significativa à corrosão. Os aços inoxidáveis são ligas Fe-Cr caracterizados pela alta resistência à corrosão em diversos ambientes, propriedade que lhe é conferida pela adição de diversos elementos de liga. Ressalta-se que o elemento de liga predominante nestes aços é o cromo (Cr), que permite a formação de uma película finíssima de óxido de cromo (Cr₂O₃) sobre a superfície do aço, denominada camada passiva, que é impermeável e insolúvel nos meios corrosivos usuais (Dias e Cândido, 2008), ademais, a resistência à corrosão também pode ser melhorada pela adição de níquel (Ni) e molibdênio (Mo). Para um

aço ser considerado inoxidável ele deve possuir uma concentração de pelo menos 11 % em peso de Cr. Portanto, uma ampla variedade de propriedades mecânicas, combinadas com excelente resistência à corrosão, torna os aços inoxidáveis muito versáteis em termos de aplicações (Callister e Rethwisch, 2016).

Com base na fase constituinte predominante em sua microestrutura, os aços inoxidáveis são comumente divididos em 3 classes: martensíticos (estrutura cristalina TCC - tetragonal de corpo centrado -), ferríticos (estrutura cristalina CCC - cúbica de corpo centrado -), austeníticos (estrutura cristalina CFC - cúbica de face centrada -) (Callister e Rethwisch, 2016). Uma última geração desenvolvida foi denominada aço duplex (uma fina microestrutura bifásica composta por ferrita (δ) e austenita (γ) em proporções semelhantes) (Loureiro, 2010).

Os aços inoxidáveis duplex possuem uma subdivisão, que são: Lean duplex, Duplex, Super duplex e Hiper duplex. O fator que os distingue é a resistência à corrosão por pite, ou melhor, pelo Número de Equivalência ao Pitting, demonstrada pelo PREN (*Pitting Resistance Equivalent*). O Lean Duplex possui valores de PRE maiores que 24, os duplex valores até 40, super duplex valores que ultrapassam 40, no entanto, são inferiores a 49 e por fim os hiper duplex com valores acima de 49 (Tavares et al., 2010).

Enfatizando a classe dos aços super duplex, objeto de estudo deste trabalho, os aços inoxidáveis super duplex (AISD) são amplamente utilizados para aplicações altamente corrosivas, estando presente, nas indústrias química, petroquímica, nuclear e de óleo e gás. Em muitos casos, a utilização desses aços super duplex é devido à excelente combinação de alta resistência a corrosão e alta resistência mecânica aliada a uma boa tenacidade. No entanto, quando utilizados em processos que requerem altas temperaturas, como em ciclos térmicos de soldagem, em determinadas temperaturas, estes aços podem precipitar fases intermetálicas que prejudicam as propriedades do mesmo (Loureiro, 2010), também podem causar mudanças no balanço de ferrita/austenita e nos formatos dos grãos (Pimenta et al, 2022). É importante se atentar para essas fases indesejadas (deletérias) que podem aparecer no AISD, pois inúmeras delas podem se formar e trazer consigo consequências maléficas para o aço. Apesar do grande número e da diversidade de fases que podem ser formadas, algumas evidenciam uma maior preocupação quando estão presentes nas estruturas, como a fase α' , chi e sigma (σ). A sigma é uma fase dura, frágil e rica em cromo, causando um empobrecimento da matriz em relação a este elemento, sendo uma das mais preocupantes e quando presentes causam diminuição tanto na resistência à corrosão quanto na tenacidade (Ferreira, 2019).

Além de acarretar de forma negativa em relação à resistência à corrosão, as fases deletérias sigma e α' podem ser precipitadas por meio do envelhecimento isotérmico. O trabalho de (Mendonça et.al., 2013) cita que, particularmente entre 700°C e 900°C, a fase sigma precipitada a partir da ferrita apresenta elevada dureza e grande fragilidade. Ademais, como outro exemplo, o trabalho de (Silva, 2011) estudou a precipitação da fase sigma no aço superduplex UNS S32520 por meio de tratamentos térmicos de solubilização em temperaturas distintas e seguido de um rápido resfriamento, sendo assim, concluiu-se que as maiores temperaturas de solubilização provocam aumento no tamanho de grão e da fração volumétrica de ferrita, o que leva a precipitação de fase sigma no aço para tempos de envelhecimento maiores. Por fim, os autores do trabalho (Smiderle et al., 2014) fizeram uma análise de falha em um tubo superduplex em uma nova plataforma para transporte de óleo e gás e o material falhou apenas com um mês após a partida da plataforma, por conta da corrosão por pites. Sendo assim, através de análises, os autores concluíram que o ataque por pites foi causado pela precipitação intensa da fase sigma em uma porção do tubo e como consequência acarretou diretamente para a diminuição da resistência à corrosão do AISD.

O simulador termomecânico Gleeble tornou-se uma ferramenta indispensável para a realização de ensaios com o objetivo de simular ciclos térmicos, os quais são fundamentais para o estudo de materiais soldados. O desempenho do AISD pode ser seriamente afetado pela soldagem. Devido à importância em manter a microestrutura desses materiais balanceada e evitar a formação de fases intermetálicas indesejáveis, os parâmetros de soldagem e os metais de adição empregados devem ser minuciosamente especificados e controlados. As frações volumétricas das fases presentes no metal base serão afetadas pelo ciclo térmico de soldagem. Se houver mudança no balanço da microestrutura ao longo do material soldado, a perda das propriedades do AISD pode ser significativa. Os AISD apresentam propriedades que derivam tanto da fase ferrítica quanto da austenítica em sua microestrutura, por exemplo: quando houver na microestrutura do metal de solda e da zona afetada pelo calor muita quantidade de ferrita, a resistência à corrosão por pites é bastante afetada. A estrutura ferrítica é propensa à precipitação de nitretos de cromo (CrN), o que leva a uma diminuição da concentração de cromo na estrutura, diminuindo a resistência à corrosão por pite (Ferreira, 2012).

O trabalho de (Luengas et al., 2016) objetivou-se a simulação da zona termicamente afetada (ZTA) no aço inoxidável duplex SAF 2205 na Gleeble com dois aportes de calor diferentes e o estudo da evolução microestrutural durante a soldagem, o qual permitiu verificar que o tamanho de grão da ferrita e austenita na ZTA foi afetado pelo aporte de calor, ou seja, quanto maior é o aporte de calor, maior é o tamanho de grão, assim diminuindo as propriedades mecânicas do aço. Em outro trabalho (Santos et al., 2019) foi avaliado a susceptibilidade à corrosão das amostras simuladas em uma Gleeble com diferentes temperaturas de pico e tempos de permanência, logo, ao avaliar o aço AISI 316L submetido a uma simulação térmica por microscopia óptica, foi constatado que o aumento da temperatura e do tempo de permanência consequentemente aumentam o tamanho médio dos grãos. Também utilizando o equipamento Gleeble, o trabalho recente de (Borba, 2020) investigou a fratura de corpos de prova de impacto de Charpy-V da região de grãos grosseiros da zona afetada pelo calor de dois aços distintos. Esses grãos

grosseiros foram produzidos em condições de soldagem de grande aporte térmico por meio da simulação na Gleeble. Logo, com os resultados obtidos pela Gleeble, os autores puderam comparar as propriedades que cada aço possuía após a simulação.

Tendo em vista dos efeitos negativos das fases deletérias e de frações volumétricas de austenita/ferrita diferentes de 1:1, o estudo da microestrutura é de fato necessário para a pesquisa. Logo, este projeto teve como objetivo avaliar os efeitos da soldagem multipasse na microestrutura da zona termicamente afetada do aço inoxidável superduplex. Para fabricar os corpos de prova com a mesma microestrutura da ZTA utilizou-se o equipamento Gleeble. A microestrutura e a composição química das fases foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia óptica (MO).

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1. Material

O material utilizado para o estudo foi o aço inoxidável super duplex UNS S32750. Foram utilizados 3 corpos de prova com dimensões: 10 mm x 10 mm x 20 mm. O primeiro corpo de prova foi analisado como recebido. Os demais corpos de prova foram tratados termicamente na Gleeble para gerar uma microestrutura igual a microestrutura presente na ZTA de uma soldagem. No segundo corpo de prova foi realizada Gleeble com 1 passe de solda a uma temperatura de 1350 °C, e por fim, no terceiro foram realizados 4 passes de aquecimento e resfriamento, nas temperaturas de 1350 °C, 1200 °C, 1050 °C, 800 °C. A Figura 01a e 01b apresentam respectivamente os gráficos de aquecimento e resfriamento da Gleeble para os corpos de prova com 1 e 4 passes. A composição química do material está expressa na Tabela 01.

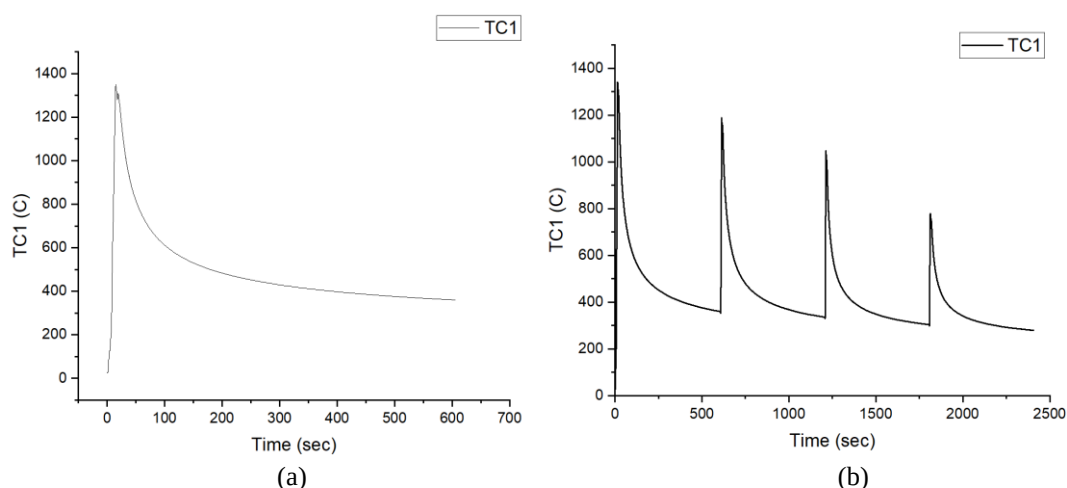


Figura 1. Gráficos de aquecimento e resfriamento da Gleeble. (a) ZTA gerada por 1 passe; (b) ZTA gerada por 4 passes.

Tabela 01. Composição Química do aço super duplex. Balanço em Fe.

	Composição Química (wt%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	W	Co
Material analisado	0,0450	0,373	0,520	0,0410	0,0110	26,33	5,31	4,05	0,441	0,424	0,173
Padrão norma (ASTM A790)	0,030 máx	0,80 máx	1,20 máx	0,035 máx	0,020 máx	24,0 26,0	6,0 8,0	3,0 5,0	0,5 máx	----	----

2.2. Preparação Metalográfica e Caracterização Microestrutural

Os corpos de provas passaram por 4 etapas: corte, embutimento, lixamento e polimento. Os cortes foram feitos em uma cortadeira metalográfica da marca Pressi SA, modelo Mecatome T180. O embutimento foi realizado na Prensa de Embutimento - PRE 30 Mi da marca Arotec. As lixas utilizadas foram de 220 a 1200 mesh. Por fim, o polimento foi realizado em uma politriz metalográfica da marca Arotec, com adição de pasta de diamante de 6, 3 e 1 µm.

Após essas etapas serem realizadas, a caracterização microestrutural foi feita com o microscópio eletrônico de varredura (MEV), operando em modo BSE, visando identificar as fases presentes, bem com a sua morfologia e frações volumétricas. O modelo do equipamento utilizado foi TM4000Plus da marca Hitachi.

2.3. Processamento Digital de Imagens

Com o objetivo de avaliar a qualidade da ZTA gerada, a técnica foi utilizada para avaliar o teor de ferrita presente na microestrutura, pois é um fator de grande relevância, visto que inúmeras propriedades do material dependem desse teor. Nesse sentido, para a realização dessa etapa o Processamento Digital de Imagens (PDI) foi usado (Gonzales, 2007; Paciornik, 1989). Assim, através da estatística foi capaz de obter uma média do teor de ferrita presente no aço. O PDI foi realizado com a utilização do programa Fiji (Schneider et.al., 2012).

2.4. Ensaio de Microdureza

O ensaio de dureza foi feito através do microdurômetro, cujo a marca é Innovatest, com o modelo Falcon 400. O ensaio realizado foi o Vickers, seguindo a norma ABNT 6507-1 (ISO, 2023). Sendo assim, foram feitas 10 indentações em cada amostra com penetrador de diamante com força de 0,0499 N (500 gf). Logo, foi possível calcular a média e o desvio padrão para serem utilizados como intervalo de confiança neste trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 temos a ZTA da microestrutura do material como recebido. A imagem foi obtida por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), no modo BSE (elétrons retroespalhados). Através da figura pode-se concluir que há duas fases presentes no material, são elas: Ferrita (apresentada com cor mais escura) e Austenita (apresentada com cor mais clara). No entanto, existem praticamente 2 tipos de austenita presentes: intragranular, que se formam dentro dos grãos ferríticos, e na forma de ilhas. Também é notada uma pequena quantidade de austenita alotriomórfica (que se forma no contorno dos grãos ferríticos). Mediante aos resultados obtidos no ensaio de Microdureza, tem-se que nessa amostra há em média uma dureza correspondente a 361,08 HV com um desvio padrão de 9,6900774. Além disso, o PDI desse aço mostrou que há aproximadamente 47,9 % de ferrita. Ressalta-se que nesse AISD não foram detectadas fases deletérias.

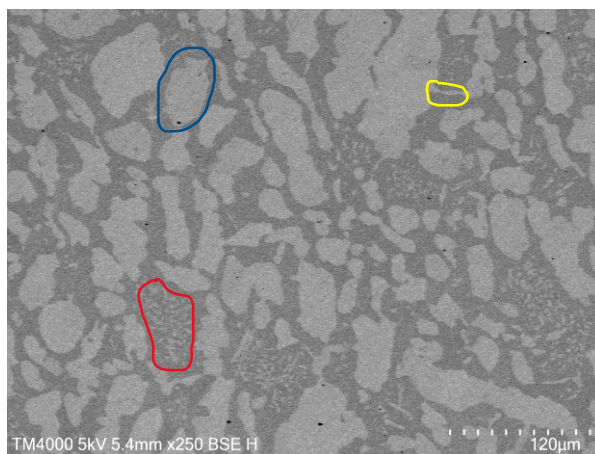


Figura 2. Microscopia Eletrônica de Varredura, material como recebido. Indicação: azul - austenita na forma de ilhas; amarelo - austenita alotriomórfica; vermelho – austenita intragranular.

A Figura 3, é referente a simulação de 1 passe de solda na ZTA do material. Assim, pode-se observar que além da ferrita há, predominantemente, austenita na forma de ilhas e alotriomórfica em sua microestrutura. Consoante a (Magalhães, 2020) em temperaturas mais altas forma-se austenita alotriomórfica. Elas nucleiam-se heterogeneamente a partir dos contornos de grãos de ferrita prévios durante o resfriamento. Por meio do ensaio de Microdureza conclui-se que tem em média 342,3 HV com desvio padrão de 11,3 e através do PDI notou-se que houve um aumento considerável de ferrita na amostra, totalizando aproximadamente um valor de 55,2%. Portanto, esses resultados quando são comparados ao aço como recebido possuem uma mudança significativa, tanto no valor de microdureza (diminuiu) quanto na porcentagem de ferrita (aumentou).

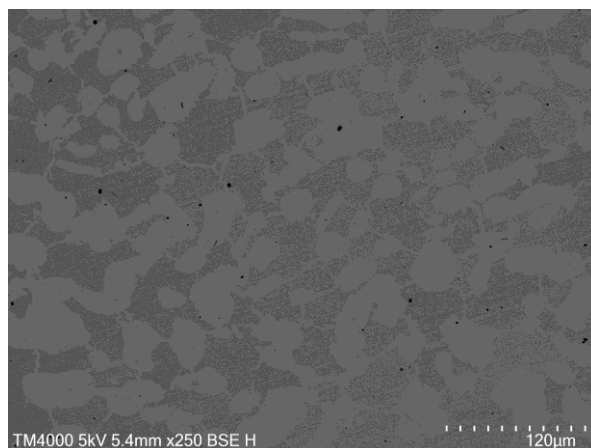


Figura 3. Microscopia Eletrônica de Varredura, material com simulação de um passe de solda.

Por fim, a Figura 4 apresenta a simulação de 4 passes de solda na ZTA do AISD. Com ela é capaz inferir que a microestrutura da austenita tende a mudar conforme o aço recebe aporte térmico. Em primeira instância, na amostra como recebida, haviam principalmente 2 tipos: intragranular e na forma de ilhas. Após o primeiro ciclo, intensificou a formação de austenita alotriomórfica, e desapareceu a austenita intragranular. Não obstante, depois de 4 ciclos térmicos, 3 morfologias de austenita são observadas: Widmanstätten, alotriomórfica e intragranular. Esse fator é coerente com a literatura, de acordo com (Zamprogno, 2010) o aporte térmico influencia na quantidade e tipo de morfologia da austenita formada nas regiões de solda. Segundo (Muthupandi, 2005) a austenita com morfologia Widmanstätten nucleia nos contornos de grão da ferrita ou da austenita alotriomórfica pré-existente e desenvolve-se ao longo de planos específicos da matriz como placas paralelas. Importante salientar que em nenhuma das micrografias analisadas, após a simulação dos ciclos de soldagem, apareceu fases indesejáveis prejudiciais ao aço, como: sigma (σ) e chi.

Seguindo as mesmas etapas que nos outros casos, tanto o ensaio de microdureza quanto o PDI foram calculados e seus valores, respectivos, são em média: 272,1 HV, com desvio padrão de 4,5, e 58,8 % de ferrita. Esses valores já eram esperados, pois quanto mais aporte térmico é oferecido a dureza tende a cair. A ferrita ter aumentado pode ser explicado devido à transformação da fase austenítica durante o resfriamento após a soldagem.

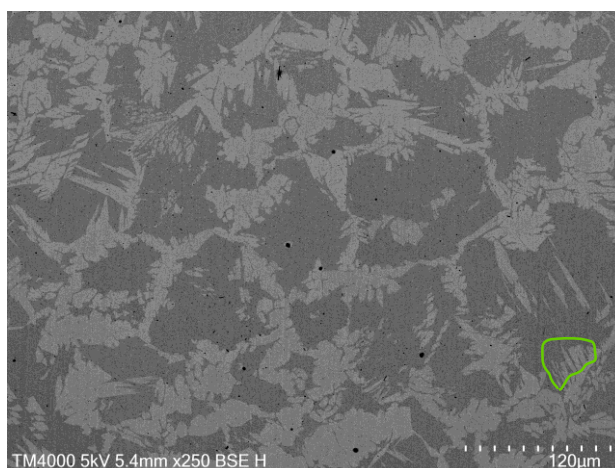


Figura 4. Microscopia Eletrônica de Varredura, material com simulação de 4 passes de solda. Indicação: verde - austenita Widmanstätten.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho que buscou abordar sobre a análise da influência da soldagem multipasse na zona termicamente afetada do aço inoxidável super duplex UNS S32750, através de análises e pesquisas embasadas nas literaturas afamadas, conclui-se que:

1. Não houve formação de fases deletérias, tais como sigma e chi;

2. Notou-se que conforme foi fornecido energia térmica para o material, as morfologias de austenita mudaram;
3. Observou que quanto mais ciclos de soldas (aporte térmico) eram fornecidos para o aço mais a dureza sofria uma queda;
4. Pode-se aferir que, a porcentagem de ferrita nas amostras aumentou de maneira linear, quanto mais ciclo de soldagem foi atribuído mais a porcentagem da ferrita aumentou.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro FAPERJ (E-26/200.739/2025; E-26/211.412/2021). E a Associação Brasileira de Engenharia e Ciência Mecânicas pela bolsa de Iniciação Científica concedida no Edital 2025.

6. REFERÊNCIAS

- Borba, T.M.D., Santos, O.J. e Modenesi, P.J., 2020. “Análise Microestrutural e Cristalográfica da Fratura de Corpos de Prova de Impacto Charpy-V da Região de Grãos Grosseiros da ZAC Simulada de Aço TMCP” XLVCONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem, Camboriú, SC, Brasil.
- Callister, W. D., Rethwisch, D.G., 2016. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais Uma Abordagem Integrada. 9ª Ed, Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos S/A, Rio de Janeiro, RJ.
- Dias, F.M.S. e Cândido, L.C., 2008. “Efeito da acidez na estabilidade da camada passiva de aços inoxidáveis em soluções contendo íons cloretos” Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.4, n.4, p. 43-46.
- Ferreira, J.A., 2012. “Boas práticas na soldagem de tubulações de Aços Inoxidáveis Duplex e Superduplex, utilizando o processo GTAW”. Encontro de soldagem da petrobrás.
- Ferreira, L.C.P., 2019. “Avaliação de fases deletérias por meio de ensaios não destrutivos em aço inoxidável duplex”. Trabalho de Conclusão de curso, *Universidade Tecnológica do Paraná, Engenharia dos Materiais*, Brasil.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Digital Image Processing (Pearson, London, 2007).
- ISO, 6507-1 Metallic materials Vickers hardness test Part 1 test method, 2023.
- Loureiro, J.P., 2010. “Caracterização do aço inoxidável duplex uns s31803 pela técnica não destrutiva de correntes parasitas pulsadas”. Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Luengas, L.O., Morejón, J. A. P., Rezende, M. C. e Bott, I. S., 2016. “Análise microestrutural da ZTA simulada na Gleeble do aço duplex SAF 2205”, p. 956-965. In: *71th ABM Annual Congress*, Rio de Janeiro, 2016. International Congress of Mechanical Engineering -COBEM2011. Natal, Brazil.
- Magalhães, A. S., 2020. “Efeitos de Tratamentos Térmicos Pós-Soldagem a LASER na Microestrutura, na Resistência à Corrosão e no Comportamento Mecânico de um Aço Inoxidável Duplex UNS S32304”. Dissertação Mestrado, Minas Gerais, Brasil.
- Mendonça, C.S.P., Ribeiro, V..S., Silva, M.R., Oliveira, V.D., Rodrigues, C.A., Melo, M.L.N.M., Correa, E.O. e Silva, E.M., 2013. “Influência do tratamento térmico de envelhecimento a 850°C na microestrutura e nas propriedades mecânicas e magnéticas do aço Duplex UNS S31803”. UNIFEI, Itajubá – MG – BRASIL
- Muthupandi, V., Srinivasan, P.B., Seshadri, S.K. e Sundaresan, S., 2003. “Effect of Weld Metal Chemistry and Heat Input on the Structure and Properties of Duplex Stainless Steel Welds”. Materials Science and Engineering A358. Janeiro, 2003.
- Paciornik, S., Mauricio, M.H.P., Digital Imaging, in: ASM (Ed.), ASM Handbook, Vol 9 Metallogr. Microstruct., ASM International, Ohio (1989)
- Pimenta, A. R., Pecly, P.H.R., Almeida, B.B., Perez, G. e Tavares, S.S.M., 2022. “Microstructure, Corrosion Resistance, and Hardness of Simulated Heat-Affected Zone of Duplex UNS S32205 and Superduplex UNS S32750 Stainless Steels”. <<https://doi.org/10.1007/s11665-022-07784-3>>.
- Santos, T.A., Santos, R.C., Martins, W.P. e Nascimento, C.C.S., 2019. “Avaliação da susceptibilidade à corrosão de um aço inoxidável AISI 316L submetido à simulação térmica com o uso da Gleeble”. IFMA, São Luís, Maranhão, Brasil.
- Schneider, C., Rasband, W. & Eliceiri, K. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* **9**, 671–675 (2012). <<https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>>.
- Silva, A., 2011. “Efeito da Temperatura de Solubilização na Precipitação de Fase Sigma de um Aço Inoxidável Super Duplex”. Dissertação (Mestrado em Materiais para Engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, Brasil.
- Smiderle, J., Pardal, J.M., Tavares, S.S.M e Vidal, A.C.N., 2014. "Premature failure of superduplex stainless steel pipe by pitting in sea water environment", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 46, p. 134-139.
- Tavares, S.S.M., et al., 2010. “Influence of microstructure on the corrosion resistance of hyperduplex stainless steel”. *Materials and Corrosion*, Vol. 61, n. 4.
- Zamprognio, E.B., et al., 2010. “Influência da variação da energia de soldagem na formação da microestrutura do aço UNS S32304”, In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 10-1289, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.