

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32101: INVESTIGAÇÃO DE REAGENTES¹

Jéssica Camila Kruger², Patricia Carolina Pedrali³.

¹ TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIJUI

² Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNIJUI

³ Professora Mestre do Departamento de Ciências Exatas e Engenharia, Orientadora

Introdução

Com a descoberta dos aços inoxidáveis, as indústrias químicas e as aplicações de altas temperaturas obtiveram uma nova classe de materiais, mais adequada para suas instalações. Os números de produção mostram claramente o impacto causado por esses materiais. No anos de 1934, aproximadamente 56 mil toneladas de aços eram produzidos, enquanto que no ano de 1953, mais de 1 milhão de toneladas eram produzidos (LOUREIRO, 2010). Os aços inoxidáveis surgiram para acabar com a procura de materiais com maior resistência a corrosão e oxidação; com tudo, estes aços inoxidáveis são diferentes dos aços convencionais. No início os aços inoxidáveis eram apenas usados nas áreas médicas e alimentícias, e hoje sua aplicação é em quase todas as indústrias (CENTENO, 2013).

Os aços em geral tem na sua composição ferro-cromo (Fe-Cr), ferro-cromo-carbono (Fe-Cr-C), ferro-cromo-níquel (Fe-Cr-Ni), ainda podem ser adicionados outros elementos de liga, como, molibdênio (Mo), manganês (Mn), silício (Si), cobre (Cu), nióbio (Nb), vanádio (V) e nitrogênio (N); sendo o elemento mais importante o cromo e posteriormente o níquel; assim alterando suas microestruturas e propriedades. Os aços inoxidáveis tem sua classificação de acordo com a microestrutura, onde são 3 principais grupos: ferríticos, austeníticos e martensíticos. E ainda podem ser classificados em duplex, possuindo aproximadamente 50% de fase austenítica e 50% de fase ferrítica e endurecíveis por precipitação. Os aços que são endurecíveis por precipitação sofre uma subdivisão em decorrência dos precipitados formados em diferentes matrizes possíveis, podendo assim ser: austenítico, semi-austenítico ou martensítico (PEDRALI, 2012 apud LIPPOLD, 2005).

Os aços inoxidáveis ferríticos são denominado assim, devido a estrutura essencialmente ferrítica ao cromo e possui sua estrutura cúbica de corpo centrado (CCC). No estado sólido, sendo que o teor de cromo nesses tipos de aços esta compreendido na faixa de 10 a 30% e o teor máximo de carbono é 0,20% (CENTENO, 2013). E em alguns tipos podem conter molibdênio, silício, alumínio, titânio e nióbio para conferir-lhe características particulares. Enxofre ou selênio podem ser adicionados para melhor usinabilidade do aço ferrítico.

Estas ligas são ferromagnéticas. Podem ter uma boa ductilidade e formabilidade, já a tenacidade pode ser limitada em baixas temperaturas, devido ao aumento de teor do cromo (LOUREIRO, 2010). Os aços inoxidáveis ferríticos podem ter fragilidades de várias causas, mas, sem dúvida o

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

carbono e o nitrogênio desempenham um papel muito importante na maioria dos casos; esses aços normalmente possuem um baixo custo e são imunes a corrosão.

Os aços inoxidáveis austeníticos são considerados como os aços inoxidáveis mais resistentes em meios agressivos. Sua estrutura é cubica de face centrada (CFC). É obtida de elementos de austenitização como o níquel, manganês e nitrogênio (LOUREIRO, 2010). Com a adição do níquel impede que transforme a estrutura CFC para CCC durante o resfriamento, permitindo que a estrutura CFC mantenha-se em temperatura ambiente (CENTENO, 2013). Esses aços são essencialmente não-magnéticos, e é considerado como uma liga ternária ferro-cromo-níquel, com teor de cromo entre 16 a 26%, de níquel entre 7 a 35%, manganês até 15%, baixo teor de carbono; molibdênio, cobre, silício, alumínio, titânio, e nióbio podem ser adicionados para melhor característica como resistência a corrosão por pites e resistência a oxidação. Enxofre ou selênio podem ser adicionados para uma melhor usinabilidade da liga (LOUREIRO, 2010). Assim como o aço inoxidável ferrítico, o aço inoxidável austenítico, também, não podem ser endurecidos por tratamento térmico, mas sim, podem ser endurecidos por deformação plástica (CENTENO, 2013). Estes aços tem boa soldabilidade e tenacidade em baixas temperaturas, enquanto a sua resistência mecânica e resistência a corrosão sob tensão são baixos. Esses aços apresentam boa ductilidade, mas, no entanto, apresentam alto custo principalmente por causa do níquel adicionado. Essas propriedades tornam o aço inoxidável austenítico muito utilizado nas indústrias químicas e petroquímicas (LOUREIRO, 2010).

Os aços inoxidáveis martensíticos são essencialmente ligas de cromo e carbono que possuem uma estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC), quando temperado. Este aço é ferromagnético, endurecíveis por tratamento térmico e geralmente são resistente a corrosão. O teor de cromo geralmente é na faixa de 10 a 18% e o teor de carbono pode exceder 1,2%. Essas quantidades são balanceadas para garantir essa estrutura martensítica depois do endurecimento. Para aumentar a resistência ao desgaste ou para manter arestas cortantes deve ter excesso de carbonetos, como é o caso da lâmina da faca (LOUREIRO, 2010). Conforme LOUREIRO (2010) os elementos como o nióbio, silício, tungstênio, vanádio podem ser adicionados para modificar o resultado da tempera após o endurecimento. O níquel pode ser adicionado pequenas quantidades, assim melhorando a resistência a corrosão e a tenacidade. Enxofre ou selênio pode ser adicionados para uma usinabilidade melhor.

Os aços inoxidáveis são muito utilizados nas indústrias químicas, petroquímicas, nuclear e de óleo e gás, os aços inoxidáveis duplex são compreendem um tipo amplamente utilizado. Na maioria dos casos, a utilização dos aços inoxidáveis duplex e superduplex é devido à excelente combinação de alta resistência a corrosão e alta resistência mecânica, superior ao aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos, aliada a uma boa tenacidade. Os aços inoxidáveis duplex assim são chamados por possuírem uma microestrutura formada por duas fases distintas: ferrita e austenita, que tem suas quantidades aproximadamente iguais (obtidas através do tratamento de solubilização).

Os aços inoxidáveis superduplex são assim chamados, por possuírem uma melhor resistência mecânica e a resistência a corrosão do aço inoxidável duplex e um número de resistência a corrosão por pites superior a 40. A diferença básica entre os aços inoxidáveis duplex e superduplex consiste principalmente nas concentrações de cromo, níquel, molibdênio e nitrogênio que essas ligas

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

apresentam, sendo que alguns desses elementos interferem diretamente na resistência a corrosão por pite (LOUREIRO, 2010). Este aço apresenta um alto percentual de elementos de liga, que são eles, cromo, níquel, molibdênio e nitrogênio, que devem ser balanceados de forma apropriada a fim de possuírem frações volumétricas similares a todas as fases e conceder a ferrita e austenita resistência a corrosão e resistência mecânica (LOUREIRO, 2010).

A elasticidade do aço inoxidável duplex é superior a duas vezes a elasticidade em aços de única fase, como aços ferríticos ou austeníticos. E possui alta tenacidade e ductilidade se comparados com os aços ferríticos e martensíticos e tem uma alta resistência a corrosão sob tensão e corrosão intergranular, comparado com os aços inoxidáveis austeníticos, também tem limite de escoamento duas vezes maior que o aço inoxidável austenítico. E tem a vantagem de ter menor teor de níquel, assim, dando aos aços inoxidáveis duplex resistência a corrosão similar a dos aços austeníticos. Com esta combinação de alta resistência e baixo teor de níquel, torna o aço inoxidável duplex uma alternativa atraente em contraste com os aços austeníticos, especialmente com o custo do níquel for elevado.

Muitas vezes a extraordinária resistência a corrosão entre outras propriedades do aço inoxidável duplex pode ser maior que o necessário para algumas aplicações. Certa aplicação, como em corrosão sob tensão, o aço inoxidável duplex pode ser uma solução aceitável, mas na questão econômica pode não ser boa quanto os aços inoxidáveis austeníticos do tipo 304, 316 ou 317. O alto custo do aço inoxidável duplex deve ao número de elementos de liga como o níquel e o molibdênio (LOUREIRO, 2010).

O aço inoxidável duplex UNS S32101 foi desenvolvido por meados dos anos 2000, como resposta do mercado pela variação do preço do níquel. O reduzido conteúdo de níquel foi compensado com o aumento no teor de manganês e nitrogênio como estabilizadores da fase austenítica na microestrutura duplex. Atualmente é alvo de estudos como substituto aos aços inoxidáveis duplex ao níquel, bem como aos austeníticos AISI 304 e AISI 316 na indústria petroquímica e de celulose, assim várias técnicas de tratamentos superficiais, a fim de modificar as propriedades do material, vêm sendo utilizada ao longo dos anos (PEDRALI, 2012). Combinadas, suas propriedades podem ser utilizadas para aperfeiçoar o projeto no que diz respeito à força, a manutenção, a durabilidade e a eficiência econômica a longo prazo. Neste trabalho busca-se investigar os diferentes reagentes químicos utilizados para análise metalográfica, de modo a confirmar a literatura pesquisada no que diz respeito ao tipo e percentual das estruturas presentes.

Metodologia

A metodologia utilizada consiste em uma revisão bibliográfica sobre os aços inoxidáveis e diferentes reagentes químicos utilizados em ensaios metalográficos para posterior realização dos testes práticos onde se faz necessária 3 amostras para cada tipo de reagente. Os reagentes testados estão listados na Tabela 1.

Tabela 1: Reagentes químicos para testes das amostras

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Tabela 1 - Reagentes utilizados para ataque das amostras.

Reagente	Composição
Nital 2%	2ml de HNO_3 em 98ml de álcool etílico (95%)
Vilella	5ml de HCl , 1g de ácido pícrico em 100ml de álcool etílico (95%)
Behara	3g de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 10g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ em 100ml de água destilada
Le Pera	Solução aquosa de 1% de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ misturada com uma solução de Picral 4%, na proporção de 1:1
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1%	1g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ em 100ml de água destilada

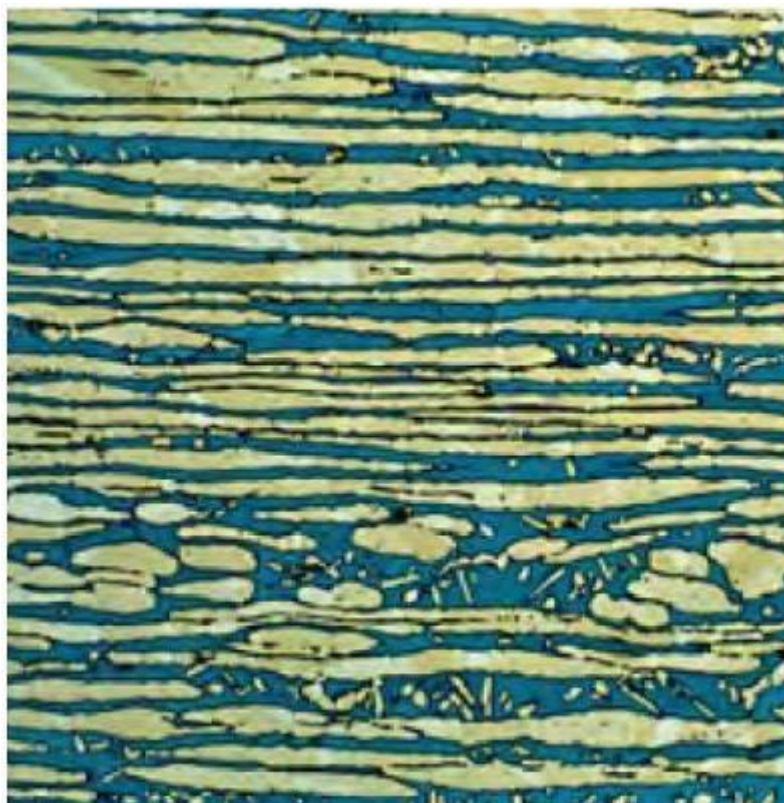
Fonte: BEHARA & SPHIGLER, 1977

Resultado e Discussão

Segundo PEDRALI, 2012 em temperatura ambiente o aço inoxidável duplex apresenta alta resistência ao impacto e boa tenacidade. Porém a tenacidade está limitada a fração volumétrica e a distribuição de ferrita. Sua utilização não é recomendada a temperaturas superiores a 280°C , pois estes aços formam precipitações frágeis a temperaturas relativamente baixas (PEDRALI, 2012). Segundo Pedrali (2012) na figura 1 pode-se verificar a estrutura típica de um aço inoxidável duplex na condição comercial, onde a fase ferrítica é apresentada pela área azul (área escura) e a fase austenítica pela área bege (área clara). Estudos anteriores de Pedrali (2012) atacadas com o reagente Marble 4% possibilitaram boa visualização de ambas as microestruturas observadas na Figura 2, porém uma investigação mais ampla dos reagentes se faz necessária para melhor distinção das fases, buscando-se distinção semelhante à apresentada na Figura 1.

Figura 1- Microestrutura do Aço Inoxidável Duplex

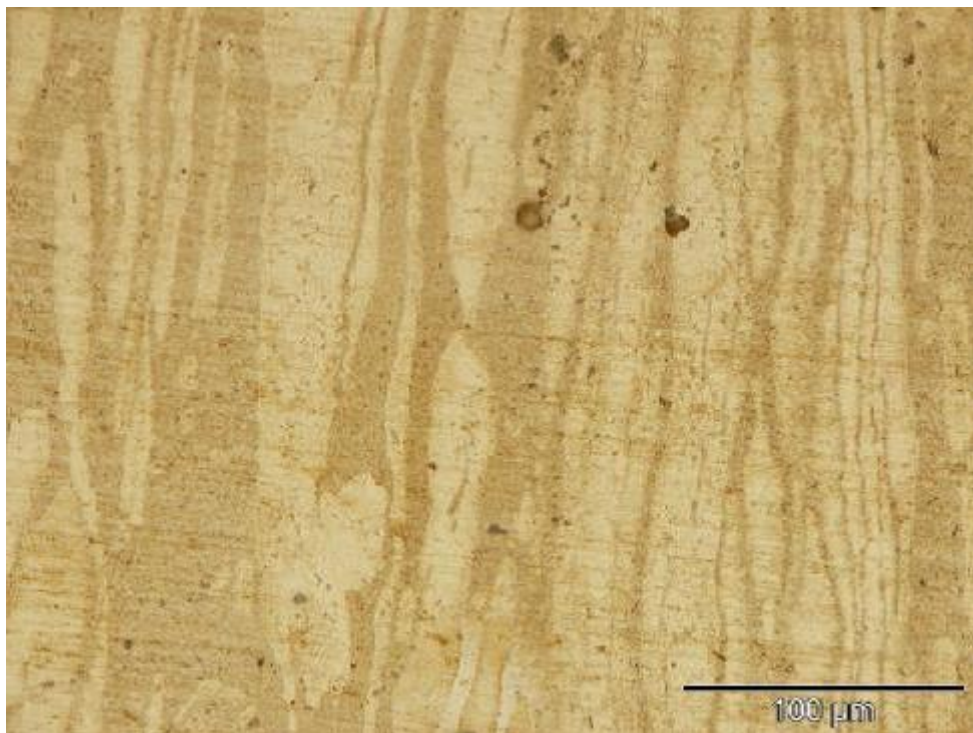
Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica



Fonte: PEDRALI, 2012 apud Practical guidelines for the fabrication of duplex stainless steels, 2009.

Figura 2- Microscopia optica aço inoxidável duplex UNS S 32101. Ataque Marble 4%. Aumento 20x

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica



Fonte: PEDRALI, 2012

Conclusão

Com a investigação teórica realizada neste trabalho, pôde-se verificar a importância dos aços inoxidáveis, em especial o aço inoxidável duplex UNS S32101 bem como do uso de reagentes químicos na caracterização microestrutural dos aços inoxidáveis necessários à observação desta. Em se tratando de distintas microestruturas a correta seleção do reagente é de suma importância, pois cada uma delas reage de forma distinta a eles, o que se visualiza na distinta coloração entre as fases.