ASPECTOS DE GEOMETRIA FRACTAL NA FRATURA DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO AISI 430 APÓS FRAGILIZAÇÃO DE 475ºC

Bruna Borakouski (BIC/Fundação Araucária/UEPG), Marcio Ferreira Hupalo (Orientador), e-mail: mfhupalo@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia de Materiais

Engenharia de Materiais e Metalúrgica. Metalurgia Física; Transformações de fase.

Palavras-chave: Aços inoxidáveis ferríticos, fragilização de 475ºC, geometria fractal.

Resumo

No presente trabalho serão estudados os efeitos de tratamentos térmicos de envelhecimento na microestrutura e características de fratura de um aço inoxidável ferrítico da classe AISI 430. Serão aplicados conceitos de geometria fractal (mecânica da fratura) no estudo da fragilização causada pelos tratamentos térmicos de envelhecimento em torno de 475ºC, fenômeno conhecido como “fragilização de 475ºC”, causada pela formação de alfa linha, zonas ou precipitados ricos em cromo, responsáveis pelo comprometimento das propriedades mecânicas e de corrosão da ferrita dos aços inoxidáveis. O efeito dos tratamentos térmicos será investigado por ensaios mecânicos de impacto instrumentado e dureza Vickers. As superfícies de fratura serão avaliadas por microscopia eletrônica de varredura. As características de fratura, os dados de levantamento topográfico e de rugosidade de trinca serão utilizados na tentativa de validação de modelo de geometria fractal proposto na literatura.

Introdução

Os aços inoxidáveis de matrizes ferríticas com teores superiores a 16% Cr (porcentagem em peso) são susceptíveis a um fenômeno conhecido como “fragilização de 475°C” devido a formação de partículas de alfa linha (α’). A ocorrência do fenômeno se dá na ferrita da maioria dos aços inoxidáveis ferríticos envelhecidos entre 300°C e 550°C, e é resultante de nucleação e crescimento ou de decomposição espinodal, ou ainda com ambos ocorrendo simultaneamente, sendo o mecanismo mais ativo determinado pelo teor de Cr em solução sólida na ferrita. A fase α’ é rica em Cr e também é composta por Fe, possui uma estrutura cristalina do tipo CCC, que se forma em longos períodos de envelhecimento, responsável pela redução de ductilidade e de tenacidade da liga, e, como efeito colateral, ocorre redução na resistência à corrosão. O comportamento à fratura de aços inoxidáveis, que é geralmente dúctil com linhas de deformação onduladas e microcavidades, torna-se frágil após a formação de α’, passando a possuir superfície de fratura com linhas de deformação retas devido à clivagem do material. A presença da fase α’ também reduz a mobilidade das discordâncias, podendo gerar maclas de deformação.[1-4]

Devido às dimensões nanométricas das partículas de α’ é impossível analisar a microestrutura espinodal em microscópios ópticos, e ainda, não é possível verificar realmente evidências a respeito das causas da fragilização através da difração de raios-X, isso pode ser explicado pelo fato de a ferrita e a α’ possuírem a mesma estrutura cristalina, CCC, com parâmetros de rede próximos. Assim, o estudo da

cinética de α' e da "fragilização de 475°C" é feito comumente de maneira indireta pela observação de mudanças nas propriedades do material, através de técnicas acústicas, eletroquímicas, elétricas e mecânicas.[5]
Embora a "fragilização de 475°C" seja conhecida há mais de 60 anos, não se têm ampla ciência acerca da sua formação e dos efeitos na deformação e nos modos de fratura atuantes. Isto posto, é importante compreender o fenômeno para otimizar o processamento e aplicações do material metálico sem o comprometimento de sua integridade.[2]
Com base nisso, o presente trabalho pretende avaliar influência da formação da fase α' nas características de fratura e nas propriedades mecânicas de aços inoxidáveis ferríticos da classe AISI 430.

Materiais e Métodos

Material

A pesquisa foi conduzida em aço inoxidável ferrítico da classe AISI 430.

Métodos

Inicialmente as amostras e corpos de prova foram submetidos a tratamentos térmicos de solubilização em 1050°C, para posteriormente realizar ensaios de dureza, de impacto e de tração.
As amostras foram subdivididas em três grupos, sendo que, algumas não foram solubilizadas, outras foram solublizadas porém não envelhecidas, e ainda por fim, realizou-se tratamentos térmicos de envelhecimento em algumas das amostras solubilizadas, em um forno com banho de sal fundido mantido em 475°C. Os envelhecimentos foram realizados em vários tempos distintos, terminados com resfriamento via têmpera em água na temperatura ambiente. Este procedimento foi realizado para as amostras destinadas aos ensaios de dureza Vickers, para o ensaio de impacto instrumentado de Charpy e para o ensaio de tração.
O tratamento térmico de solubilização foi realizado para dissolver possíveis partículas de segunda fase, para redistribuir e enriquecer o Cr na ferrita disponível para a formação de α'. Desta forma, escolheu-se as temperaturas de 1050°C e 1150°C, e o tempo de 30 min, para evitar a exposição prolongada das ligas em temperaturas que promovessem crescimento excessivo dos grãos.
Realizou-se preparação metalógrafica e caracterização da microestrutura, para estudar a microestrutura antes e após a solubilização, identificar as fases presentes, bem como a eficácia da solubilização realizada. O ataque nas amostras foi realizado pelo reagente Vilella, feito com 1 g de ácido pícrico, 5 ml de ácido clorídrico e 100 ml de etanol.
Os ensaios de tração também foram realizados nas amostras com o objetivo de se obter dados de propriedades mecânicas antes e após a formação de α', para o estudo da influência da fragilização a 475°C nas propriedades mecânicas do aço.
Analisou-se as superfícies de fratura dos corpos de prova, ensaiadas em tração e em impacto, pelo MEV-FEG, para avaliar o efeito fragilizante dos tratamentos térmicos de envelhecimento em 475°C durante diversos tempos.

Resultados e Discussão

As figuras abaixo mostram a microestrutural do aço inox AISI 430 antes e após realização de tratamento térmico em 1050 °C e 30 min. Em (a) a distribuição de partículas é uniforme pela matriz ferritica, sendo que os precipitados dispersos são possivelmente carbetos. Em (b) tem-se uma matriz monofásica, é possível notar que

após o tratamento térmico houve uma dissolução das partículas indesejáveis de segunda fase, assim, esse foi um método eficiente.

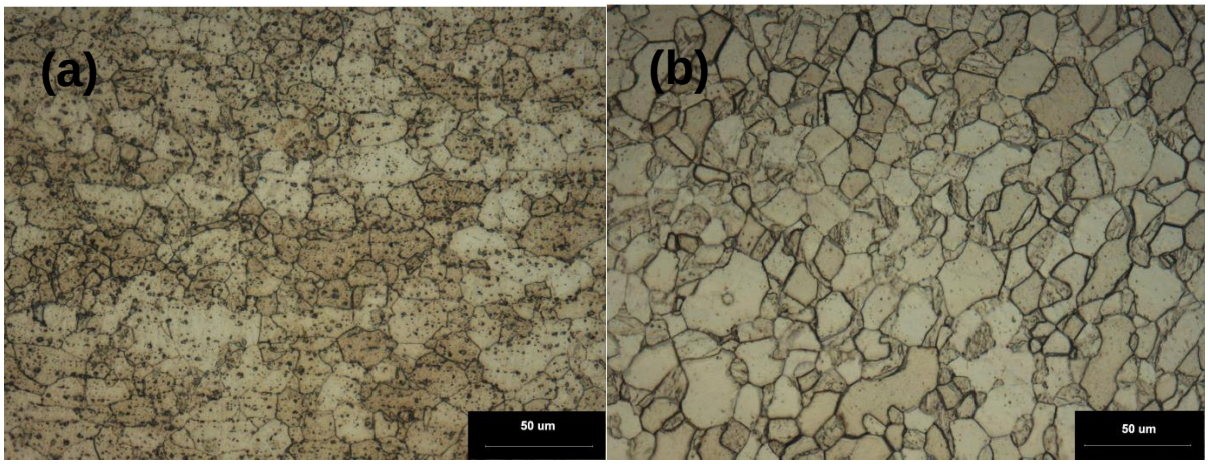


Figura 1 – Fotomicrografias obtidas por microscopia ótica para amostras (a) não solubilizada e (b) solubilizada.

O gráfico 1 abaixo compara as curvas de endurecimento para os aços AISI 430 e SAF 2507. Segundo as curvas, após 60h de envelhecimento estima-se que tenha ocorrido cerca de 90% do endurecimento total possível para o aço SAF 2507, que quando comparado com o aço AISI 430, nota-se que a fragilização está em torno de apenas 5%. Para que este atinja um grau de fragilização similar ao primeiro, seria necessária uma cinética muito mais lenta, em outras palavras, cerca de 1300h.

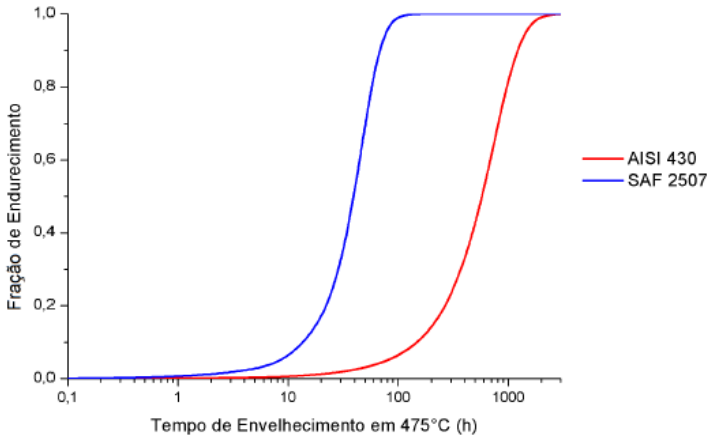


Gráfico 1 – Curvas de fração de endurecimento dos aços AISI 430 e SAF 2507.

Ao realizar as medidas de dureza Vickers observou-se um desvio na tendência de regime de endurecimento constante durante a formação de α' para medidas em tempos de envelhecimento consecutivos. De maneira geral, para a amostra não solubilizada, na qual as partículas na matriz são ricas em Cr, com a dissolução destas partículas a dureza aumentou, o que é explicado pelo aumento da concentração do elemento liga em solução solida, formada pelo Cr, sendo que este é um dos mecanismos de endurecimento.

Por meio dos ensaios de tração notou-se que independente do tratamento térmico das amostras, o módulo de elasticidade do material permaneceu quase sem se alterar. No gráfico 2 fazendo uma comparação entre as amostras não solubilizada e solubilizada, ocorreu um aumento da tensão na ruptura e uma diminuição nos limites de escoamento, isto pode ser justificado pela dissolução de partículas de segunda

fase que ocorreu após a solubilização, estas eram concentradoras de tensão para a nucleação de vazios e defeitos microestruturais.

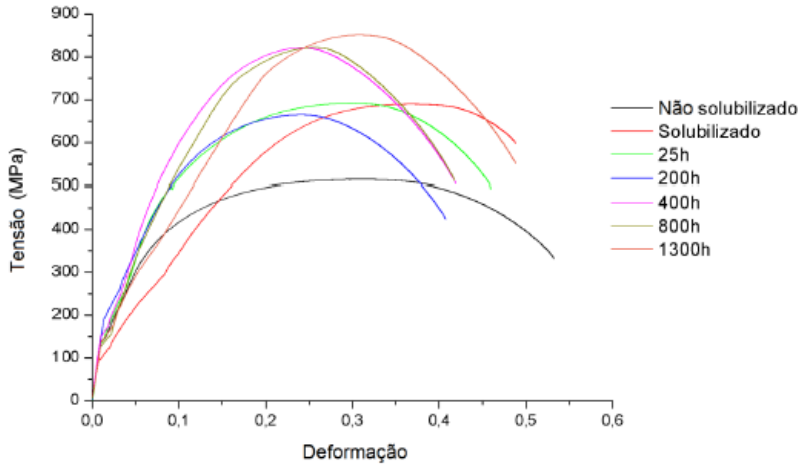


Gráfico 2 – Curvas de tensão-deformação dos corpos de prova não solubilizado, solubilizado e envelhecidos em tempos distintos.

Conclusões

Para as curvas de envelhecimento a cinética de fragilização mais lenta no AISI 430, quando comparado ao dúplex, pode ser justificada devido ao menor teor de Cr em solução sólida na ferrita presente, visto que a formação de α' é favorecida pelo aumento de Cr dissolvido na matriz.

Já para os resultados obtidos pelos ensaios de tração, após a solubilização ocorreu um aumento no limite de resistência a tração, bem como nos limites de escoamento superior e inferior. Conforme se aumentou o tempo de envelhecimento a tendência foi o aumento do limite de resistência e do limite de escoamento

Agradecimentos

Agradeço à Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica e agradeço também ao Prof. Dr. Marcio Ferreira Hupalo pela oportunidade deste projeto e por todo o incentivo.

Referências

1 RIVLIN, V. G.; RAYNOR, G. V. Phase equilibria in iron-ternary alloys. In: Critical evaluation of constitution of chromium-iron-nickel system. **International Metallurgical Reviews.** v. 25, p. 21-38, 1980.

2 TERADA, M; HUPALO, M. F., COSTA, I; PADILHA, A. F. Effect of alpha prime due to 475°C aging on fracture behavior and corrosion resistance of DIN 1.4575 and MA 956 high performance ferritic stainless steels. **Materials Science and Technology.** v. 43, p. 425-433, 2008.

3 CHANDRA, K. et al. Low temperature embrittlement of duplex stainless steel: Correlation between mechanical and eletrochemical behavior. **Materials Science and Engineering A.** v. 527, p. 3904-3912, 2010.

4 GROBNER, P. J. The 885 ºF (475°C) embrittlement of ferritic stainless steels. **Metallurgical Transactions.** v. 4, n.1, p. 251-260, 1973.

5 PARA, S. Spinodal Transformation Structures. In: **ASM Metals Handbook – Metallography and Microstructures.** ASM International, 2004. p. 349-358. v. 9.