

EFEITO DA ADIÇÃO DE Nb E DA TEMPERATURA DE REVENIMENTO SOBRE A RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITE E SOBRE O GRAU DE SENSITIZAÇÃO DE AÇO INOXIDÁVEL SUPERMARTENSÍTICO 13Cr5Ni2Mo*

José Wilmar Calderón-Hernández¹
Duberney Hincapie Ladino²
Antonio Livio da Silva Nunes³
Rodrigo Magnabosco⁴
Neusa Alonso-Falleiros⁵

Resumo

Os aços inoxidáveis supermartensíticos (AISM) foram projetados a partir dos aços inoxidáveis martensíticos de mais alto teor carbono, o seu desenvolvimento começou na década de 90. As características principais que os definem como supermartensíticos são: o baixo teor de carbono ($C < 0,03\%$) e adição de alguns elementos de liga, especialmente Ni e Mo, essas mudanças na composição química junto com os tratamentos térmicos adequados (têmpera e revenimento) fornecem excelentes propriedades mecânicas e resistência à corrosão melhorada, comparados com os aços inoxidáveis martensíticos UNS S41000 e S42000. Neste trabalho estudou-se o efeito da adição de Nb e da temperatura de revenimento (550°C, 575°C e 600°C) sobre a resistência à corrosão por pite e sobre o grau de sensitização através de dois AISM, um denominado SM2MoNb contendo 0,11% Nb e outro SM2Mo sem adição de Nb. Os resultados mostraram que o aço SM2MoNb apresentou, nas três temperaturas estudadas de revenimento, melhor resistência à corrosão por pite e menor grau de sensitização (GS), ou seja menor tendência à corrosão intergranular. Sabe-se que o Nb ajuda a diminuir o GS devido à inibição da precipitação de $Cr_{23}C_6$ por estabilização de carbono formando NbC em temperaturas mais altas, mas, na literatura especializada, não foram encontradas explicações quanto ao comportamento da corrosão por pite.

Palavras-chave: Corrosão por pite; Grau de Sensitização, Aço Inoxidável supermartensítico; Temperatura de Revenimento

EFFECT OF THE Nb ADDITION AND THE TEMPERING TEMPERATURE ON THE PITTING CORROSION RESISTANCE AND THE DEGREE OF SENSITIZATION OF SUPERMARTENSITIC STAINLESS STEEL 13Cr5Ni2Mo

Abstract

Supermartensitic stainless steels were developed from martensitic stainless steels with high C content, the production of Super Martensitic Stainless Steel (SMSS) started at the middle of 1990's. The main characteristic that defines them as supermartensitics are: The low carbon content ($C < 0,03\%$) and the addition of alloys, particularly Ni and Mo. Those chemical changes and the appropriate heat treatments (quenching and tempering) provide excellent mechanical and corrosion properties, when compared with martensitic stainless steels UNS S41000 and UNS S42000. In this work was investigated the effect of Nb and tempering temperatures (550°C, 575°C e 600°C) on the pitting corrosion resistance (E_p) and the degree of sensitization (DOS) of two supermartensitic stainless steels, SM2MoNb containing 0,11% Nb and SM2Mo without Nb. The results showed that the SM2MoNb steel exhibited, in the three temperatures, better corrosion resistance and low degree of sensitization, that means minor tendency to intergranular corrosion. It is known that Nb alloy decrease the DOS due to inhibition of $Cr_{23}C_6$ precipitation by carbon stabilization precipitating NbC in high temperatures, but, in the bibliography used were not found explanations about the pitting corrosion behavior in these materials.

Keywords: Pitting corrosion; degree of sensitization, Supermartensitic Stainless steel; Tempering Temperature.

¹ Pós-Graduando do Programa de Engenharia de Minas e de Petróleo da escola politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), SP, Brasil.

² Pós-Graduando do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP, SP, Brasil.

³ Laborarista Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP, SP, Brasil

⁴ Docente do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Universitário FEI, SP, Brasil.

⁵ Docente do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis martensíticos da série 400 são bastante utilizados na indústria graças a sua excelente resistência mecânica e ao fato de serem inoxidáveis. Mas o grande problema deles é que tem moderada resistência à corrosão em ambientes agressivos (devido ao baixo teor de Cr, 13%Cr) e aos problemas de soldabilidade (devido principalmente ao alto teor de C, $C > 0,03\%$), isso comparado aos inoxidáveis austeníticos e ferríticos que contêm ao redor de 18%Cr e $C < 0,03\%$.

O fato dos aços martensíticos possuírem alta resistência mecânica e menor custo devido ao baixo teor de Cr encorajou produtores e consumidores de aços inoxidáveis, desde há duas décadas, a trabalharem no projeto de novos aços inoxidáveis martensíticos que possuíssem alta resistência contra corrosão e melhor soldabilidade (ou seja, soldáveis sem tratamentos térmicos posteriores). Assim foram desenvolvidos os Aços Inoxidáveis Supermartensíticos (AISM), cujas mudanças básicas tem sido a diminuição do teor de C ($C < 0,03\%$) que ajuda na soldabilidade mediante o mecanismo de diminuição da precipitação de carbonetos de Cr [1]. Outra das mudanças importantes na composição química foi a adição de Mo que melhora a resistência à corrosão por pite melhorando as propriedades da película passiva [2-4], e adição de Ni para atingir uma microestrutura majoritariamente martensítica após têmpera. [5].

Outros termos para os aços inoxidáveis supermartensíticos podem ser encontrados, por exemplo, aço 13%Cr soldável ou aço martensítico de baixo carbono e podem ser divididos em três grupos: baixa liga (1,0% a 2,5% Ni; $< 1\%$ Mo), liga intermediária (2,5% a 4,5% Ni; 1,0% a 2,0% Mo) e alta liga (4,5% a 6,5% Ni; $> 2\%$ Mo). [6]

Outros elementos poderiam ser adicionados com o propósito de melhorar ainda mais as propriedades mecânicas e de resistência contra corrosão. Esses tipos de pesquisas ainda são escassas. Um dos trabalhos foi desenvolvido por Ma et al [7] que estudaram o efeito do Nb sobre a microestrutura e resistência mecânica de aços supermartensíticos, apresentando as vantagens da adição de Nb sobre as propriedades mecânicas dos AISM. Os autores também tentaram determinar o efeito da adição de Nb sobre a resistência à corrosão por pite, mas nessa oportunidade só foram apresentadas algumas curvas de polarização potenciodinâmica sem aprofundamento na discussão.

Nesta revisão bibliográfica vale destacar:

Kimura et al [8], realizaram diferentes tratamentos térmicos em AISM com o objetivo de obter amostras com diferentes teores de austenita retida (desde 0 até 37,3%) e estudar a influência desta sobre o potencial de pite, o potencial de corrosão, a taxa de corrosão e a precipitação de fases ricas em Cr e Mo.

Roznovska et al [9], estudaram o grau de sensibilização e a corrosão por pite de um aço inoxidável SM 13Cr6Ni2,5Mo, mediante polarização potenciodinâmica e o método de reativação eletroquímica potenciodinâmica (DL-EPR). Os resultados mostraram que o tratamento de revenimento acelera tanto a corrosão por pite quanto a corrosão intergranular, o que foi relacionado com as heterogeneidades microestruturais devido à formação de lamelas de austenita revertida e precipitação de partículas de fase de Laves, causadas pelo tratamento de revenimento.

Picon et al [10] estudaram o mecanismo de corrosão por pite de aços inoxidáveis SM sem liga e ligados com Nb e com Ti. Os materiais foram solubilizados a 1000°C durante 45 minutos e temperados em água, em seguida revenidos a 570°C durante

2 horas e resfriados ao ar. Neste trabalho, Ti e Nb são adicionados com o objetivo de diminuir a sensitização e promover o refino do grão. Como eletrólito foi empregada água do mar natural com pH 8,0 extraída do alto mar da praia de Boa Viagem em Recife-PE (Brasil), eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) e velocidade de varredura de 1mV/s. Os resultados mostraram que o aço com Nb apresentou potencial de pite inferior às outras condições: SM sem adição: 308 mV, SM+Nb: 231 mV e SM+Ti: 326 mV. Os autores não explicam as razões do menor potencial de pite para o aço SM+Nb. De fato, seria de se esperar que este aço apresente o melhor desempenho, uma vez que todo o carbono estaria estabilizado pelo Nb, o que leva a um número menor de sítios de nucleação de pites, uma vez que as regiões empobrecidas de cromo estão ausentes. Já para o aço SM, sem Ti nem Nb se esperaria o pior desempenho, pois, a falta destes estabilizadores de carbono levaria à formação de carbonetos de cromo, durante o tratamento de revenimento, com as consequências já mencionadas anteriormente.

Rodrigues et al [11] estudaram a corrosão por pite de dois aços inoxidáveis SM um deles contendo Nb e o outro, sem Nb, com teor um pouco mais elevado de Ni. Ambos os aços foram tratados termicamente a 1000°C durante 45 minutos sendo resfriados em óleo e submetidos a revenimento a 610°C durante 2 horas, com resfriamento ao ar. Rodrigues et al [11], levantaram curvas de polarização potenciodinâmica utilizando água do mar natural, com pH 8, temperatura ambiente e velocidade de varredura de 1mV/s. Neste trabalho os pesquisadores reportaram que o aço SMSS+Nb apresentou maior resistência à corrosão do que o aço SMSS+Ni, com potenciais de pite de 290 mV e 202 mV respectivamente, concluindo que o Nb melhorou a resistência à corrosão sem comprometer a resistência mecânica. Os autores não discutem as razões destes resultados. Provavelmente, o maior teor de Ni aumentou a fração de austenita retida, a qual após revenimento pode apresentar precipitação de carboneto de cromo, além disso, o aço SMSS+Nb está totalmente estabilizado e, portanto, não apresentará as regiões empobrecidas em cromo, as quais são prejudiciais à resistência à corrosão intergranular e podem servir de sítios para a nucleação de pites.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

As amostras de aços inoxidáveis supermartensíticos estudadas foram doadas pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e se tratavam de corridas experimentais elaboradas pelo “Department of Material Science and Engineering, McMaster University, Hamilton, Canada”. Na Tabela 1 apresenta-se a composição química das amostras.

Tabela 1 Composição química. (Porcentagem em massa.)

AISM	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Nb	Ti
SM2MoNb	0,022	0,41	0,48	0,016	0,006	12,91	5,16	2,05	0,010	0,11	0,0043
SM2Mo	0,020	0,42	0,51	0,016	0,004	12,59	5,01	1,90	0,013	-----	0,0062

Tratamentos térmicos

A caracterização dos materiais tal como recebidos mostrou que os aços continham certo teor de ferrita delta na microestrutura, a qual é rica em Cr. Para evitar erros de

interpretação nos resultados dos ensaios eletroquímicos fez-se tratamento térmico para dissolução da ferrita a 1050°C durante 48 horas, com resfriamento ao ar [12]. Em seguida, foi realizado novo aquecimento na mesma temperatura por 30 minutos, com resfriamento ao ar, cujo objetivo foi a diminuição do tamanho de grão austenítico. A seguir, foram realizados revenimentos a 550°C, 575°C e 600°C por 2 horas, com resfriamento em óleo.

Ensaio de corrosão por pite

Para determinar a resistência à corrosão por pite foram determinados os potenciais de pite (E_p) através de ensaios de polarização potenciodinâmica num potenciostato/galvanostato da marca PAR 273A (Princeton Applied Research) com célula eletroquímica com formato de balão volumétrico e eletrodo de calomelano saturado (ECS) em solução eletrolítica de 0,6 M NaCl, a velocidade de varredura aplicada foi de 1mV/s. Foram feitas 5 repetições de cada condição.

Ensaio de Grau de Sensitização

A determinação do grau de sensitização foi realizada através da técnica de reativação eletroquímica potenciodinâmica de ciclo duplo, mais conhecida na literatura especializada como “Electrochemical Potentiodynamic Reactivation with Double Loop” (DL-EPR) em solução de 1M H_2SO_4 + 0,01M KSCN, eletrodo de calomelano saturado e velocidade de varredura de 1,67 mV/s. Igualmente aos testes de polarização potenciodinâmica, a aplicação e registro dos dados foram feitos com potenciostato da PAR (Princeton Applied Research) modelo 273A, através do software PowerSuite. Foram feitas 5 repetições de cada condição.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização microestrutural

3.1.1 Exames metalográficos

Foram realizados exames metalográficos através de microscópio óptico (MO) para os dois aços nas três temperaturas de revenimento estudadas. Não foram percebidas diferenças significativas entre os aços, e sim entre as temperaturas de revenimento.

3.1.2 Thermo-Calc

Com o objetivo de prever as fases que esses materiais podem apresentar durante o revenimento foram feitas simulações termodinâmicas de fases com o software Thermo-Calc na faixa de temperaturas de 400°C até 1100°C. Os resultados mostraram que estes materiais podem precipitar carbonetos de cromo ($M_{23}C_6$ enriquecido em Cr) e M_6C (carboneto rico em Mo) e a fase CHI a qual é rica em Cr e Mo. Nas Figuras 1 e 2 são mostrados os resultados obtidos.

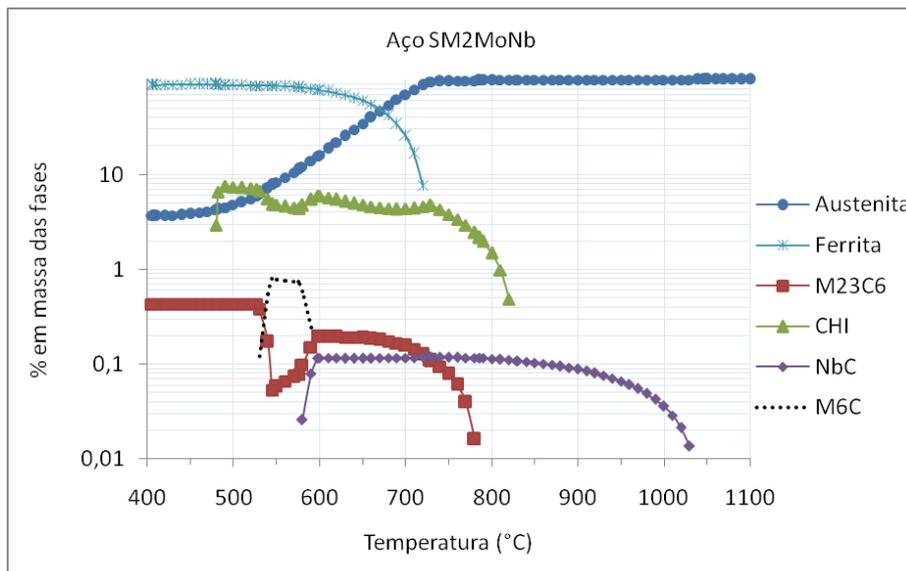


Figura 1. Simulação de fases utilizando Thermo-Calc para o aço SM2MoNb

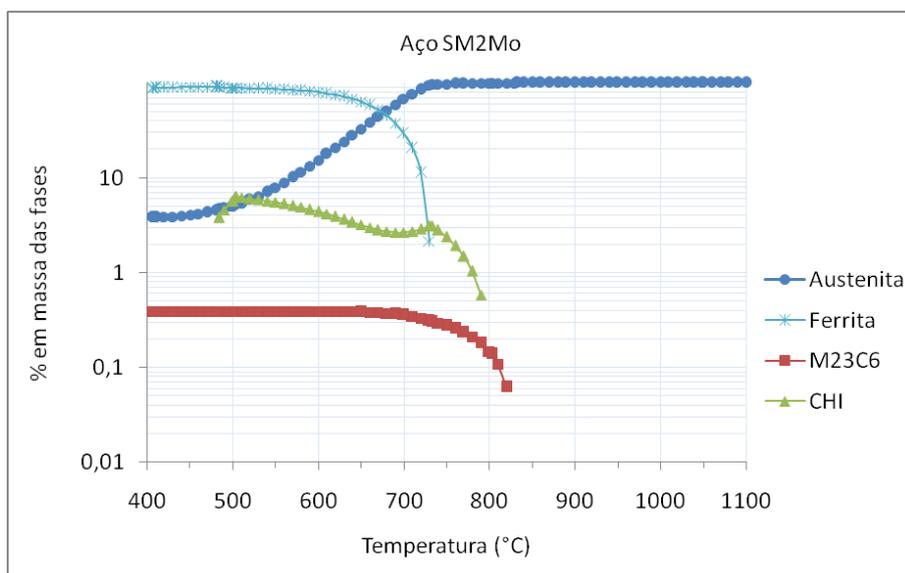


Figura 2. Simulação de fases utilizando Thermo-Calc para o aço SM2Mo

Sabe-se que a adição de Nb em aços inoxidáveis precipita NbC em altas temperaturas evitando (ou diminuindo) a precipitação de $M_{23}C_6$ em temperaturas mais baixas, tal como é apresentado na Figura 2, o carboneto NbC começa a precipitar em temperaturas acima de $1000^{\circ}C$ enquanto que o $M_{23}C_6$ começa a precipitar em temperaturas menores (ao redor de $800^{\circ}C$). Esse é um dos motivos pelos quais não é esperada a presença de $M_{23}C_6$ no aço SM2MoNb, pois para a precipitação de $M_{23}C_6$ é necessário que o NbC seja dissolvido nas baixas temperaturas. Como esse processo é cineticamente desfavorável, o carboneto NbC precipitado em mais alta temperatura permanecerá nas baixas temperaturas. Deve-se ressaltar que o NbC presente neste aço é formado durante o resfriamento da têmpera e não necessariamente nas temperaturas de revenimento aqui utilizadas. A fase CHI é esperada em ambos os aços sendo que é uma fase rica em Cr e Mo.

3.2 Potencial de pite

Realizar o levantamento de curvas de polarização potenciodinâmica de aços inoxidáveis supermartensíticos é bastante difícil já que esses materiais são susceptíveis à corrosão por fresta, e isto pode levar a uma interpretação errada dos resultados. Neste trabalho após cada ensaio era verificado em microscópio óptico se realmente se tratava de corrosão por pite e não de frestas. Para cada condição foram considerados no mínimo 5 ensaios que não apresentaram frestas e cuja curvas de polarização fossem bem definidas. Na Figura 3 é mostrado o formato das curvas obtidas.

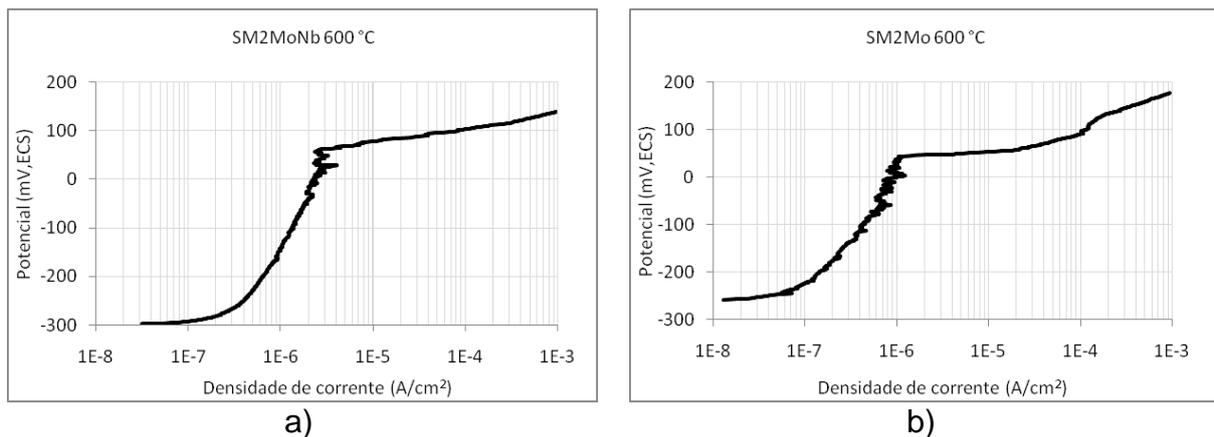


Figura 3. Curvas representativas obtidas durante os ensaios de polarização potenciodinâmica. a) Aço SM2MoNb. b) Aço SM2Mo.

Nas Figuras 4 a 6 é apresentado o resumo dos resultados obtidos de E_p , apesar do alto desvio padrão foi observado que a tendência do sistema é que os aços contendo Nb possuam maior resistência à corrosão por pite. O aço SM2MoNb na temperatura de revenimento de 575°C apresenta o melhor desempenho.

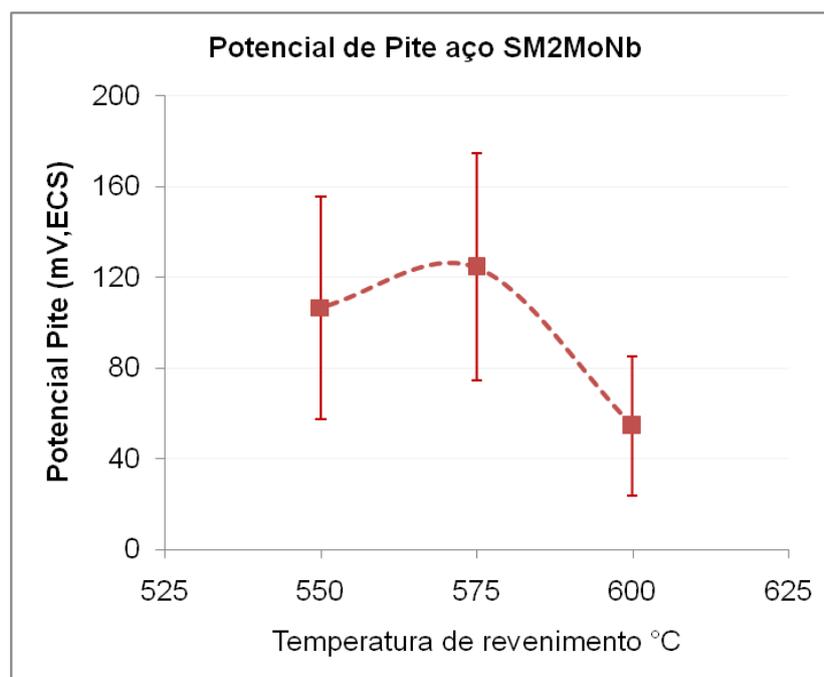


Figura 4. Resultados de E_p em função da temperatura de revenimento para o aço SM2MoNb.

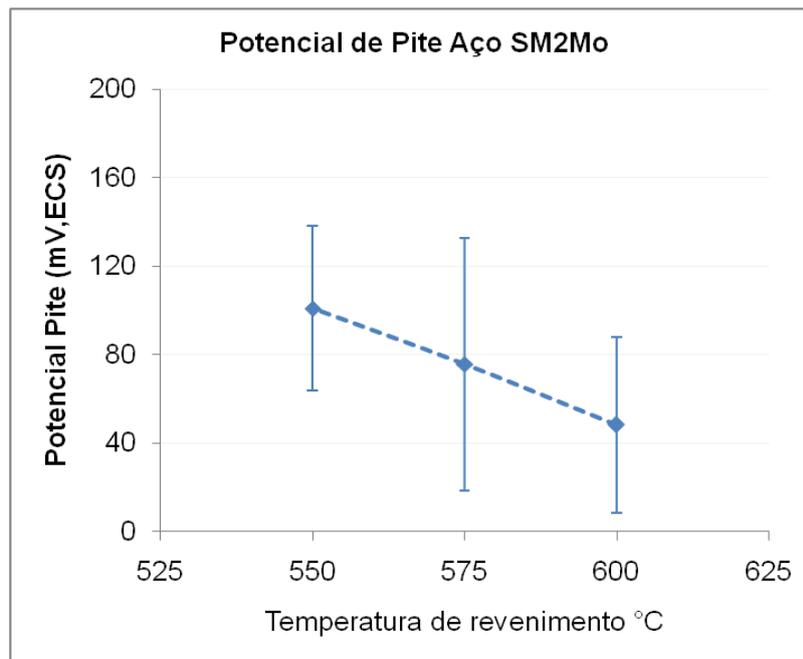


Figura 5. Resultados de E_p em função da temperatura de revenimento para o aço SM2Mo.

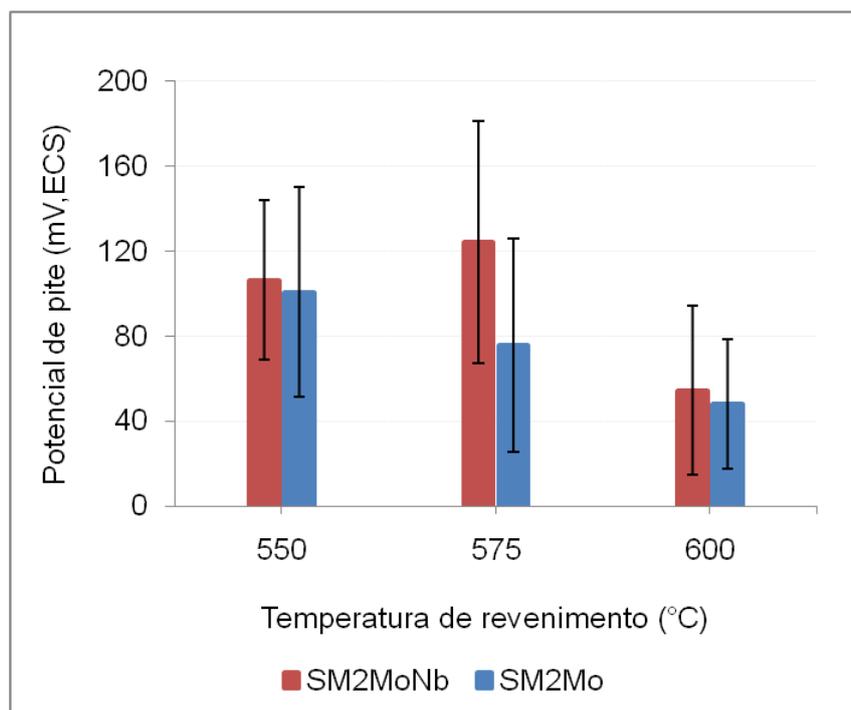


Figura 6. Resultados de E_p em função da temperatura de revenimento para ambos os AISMs.

3.3 Grau de sensibilização

A seguir são apresentados os resultados de porcentagem de grau de sensibilização (%GS) para os dois AISMs em solução de 1M H_2SO_4 + 0,01M KSCN. Nas Figuras 7.a e 7.b são apresentadas curvas típicas obtidas durante os ensaios. Nota-se na Figura 7.a o sentido da polarização, a densidade de corrente de ativação "ia" e reativação "ir", o quociente entre esses dois valores, multiplicado por 100, fornece o GS em porcentagem.

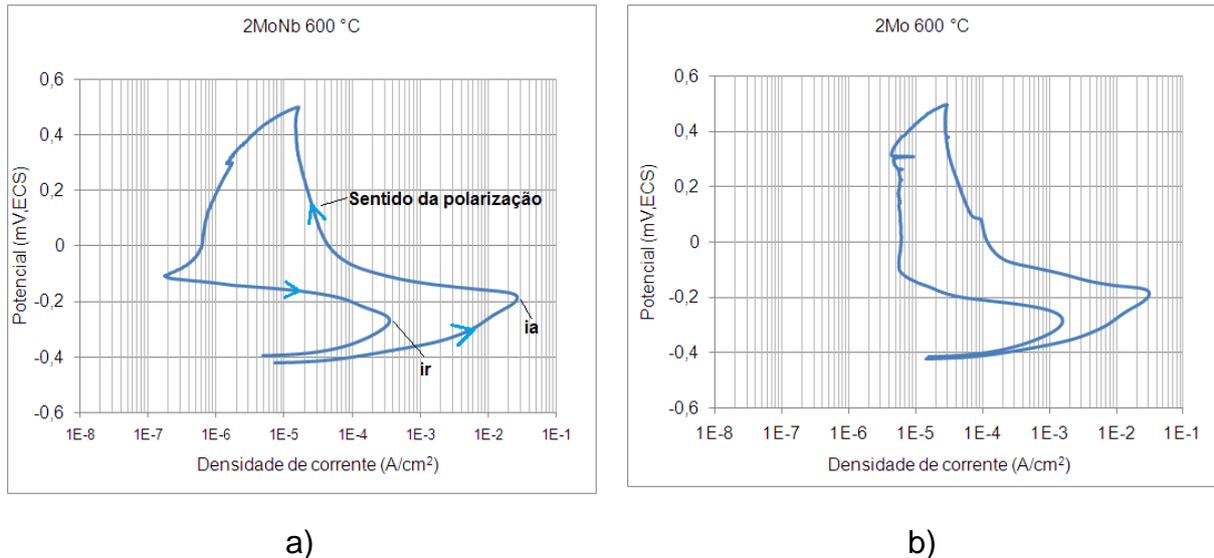


Figura 7. Curvas representativas dos ensaios de reativação potenciodinâmica (DL-EPR). a) Aço SM2MoNb. b) Aço SM2Mo.

Na Figura 8 apresentam-se os resultados de %GS em função da temperatura de revenimento. O aço SM2MoNb apresentou melhor desempenho posto que não apresenta GS considerável em nenhuma das condições, enquanto que o aço SM2Mo apresentou GS especialmente alto na condição de revenimento a 550°C.

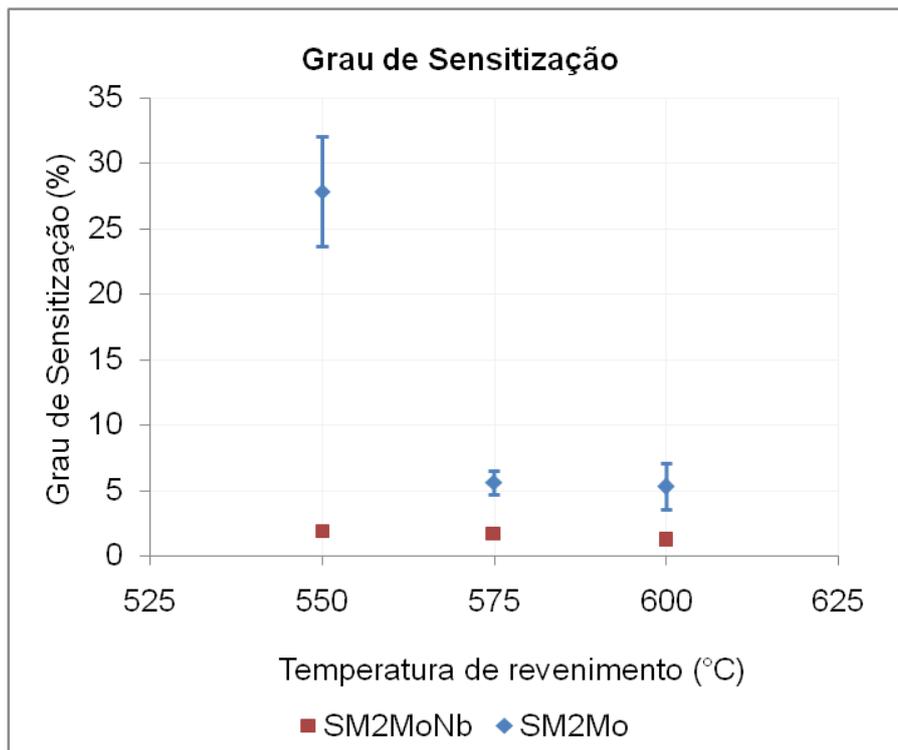


Figura 8. Resultados do Grau de Sensitização em função da temperatura de revenimento.

4 DISCUSSÃO

Em aços inoxidáveis, a precipitação de fases, ricas em Cr e Mo, leva à formação de regiões empobrecidas nesses elementos os quais são fundamentais para a estabilidade da película passiva. No presente trabalho foram utilizados dois

eletrólitos: um ácido, para a determinação do GS, e outro de pH mais elevado, a base de cloreto para a determinação do Ep. O primeiro, que contém H_2SO_4 , favorece a corrosão de regiões pobres em Cr, sendo menos afetada pelo empobrecimento em Mo. Já o segundo, que contém NaCl, leva à corrosão de regiões pobres em Cr e Mo. Além da fase CCC (ferrita, determinada pela termodinâmica), as simulações através de Thermo-Calc indicaram a presença de cinco fases para o aço SM2MoNb: austenita, Mo_6C , $Cr_{23}C_6$, Chi e NbC. Para o aço SM2Mo foram previstas três fases: austenita, Chi e $Cr_{23}C_6$.

Segundo o diagrama de fases (ThermoCalc) Inicialmente a $1050^\circ C$ o sistema em altas temperaturas é 100% austenita, no resfriamento rápido da tempera a matriz do aço transforma-se majoritariamente em martensita temperada (Martensita_{Temp}) mais um residual de austenita retida (austenita_{ret}). No aço contendo Nb espera-se mais uma fase que transforma durante a tempera, o carboneto NbC, que segundo o ThermoCalc precipita em temperaturas ao redor de $1000^\circ C$.

As transformações esperadas durante a tempera desde $1050^\circ C$ são:

Austenita@ $1050^\circ C$ → Martensita_{temp}+Austenita_{ret} + NbC (SM2MoNb)

Austenita@ $1050^\circ C$ → Martensita_{temp}+Austenita_{ret} (SM2Mo)

Após o tratamento de tempera os aços passam pelos revenimentos, nessas temperaturas de revenimento o sistema possui o potencial termodinâmico para precipitar outra série de precipitados e carbonetos:

Martensita_{temp}+Austenita_{ret}+NbC → Martensita revenida+ Mo_6C +CHI (SM2MoNb)

Martensita_{temp}+Austenita_{ret} → Martensita revenida+ $Cr_{23}C_6$ +CHI (SM2Mo)

Por tanto, o aço SM2MoNb apresentou grau de sensitização desprezível, isso devido à adição de Nb que estabilizou o carbono mediante a precipitação de NbC em temperaturas maiores às de precipitação do carboneto $Cr_{23}C_6$.

O aço SM2Mo apresentou grau de sensitização nas três temperaturas de revenimento estudadas, isso e devido a que o aço não foi estabilizado com Nb. Na temperatura de $550^\circ C$ apresentou-se o maior GS, isso pode ser devido a que nessa temperatura o potencial termodinâmico é ainda mais favorável para a precipitação de $Cr_{23}C_6$, o qual é deletério porque empobrece a matriz do aço nesse elemento (Cr), o qual é fundamental para a estabilidade da película passiva aumentando conseqüentemente o Grau de sensitização. Ao contrário, o aço SM2MoNb não apresentou considerável GS, o que foi devido à precipitação de NbC que estabilizou o C e evitou a precipitação de $Cr_{23}C_6$.

Com respeito ao comportamento em quanto à corrosão por pite, apesar dos resultados apresentarem alto desvio padrão, nota-se que a tendência do sistema é que o aço SM2MoNb apresente maior resistência a corrosão por pite, esse melhor desempenho pode ser atribuído também à adição de Nb, já que há uma relação entre a estabilidade da película passiva e a resistência ao pite, e a adição de Nb consegue manter a estabilidade da película passiva evitando a precipitação de $Cr_{23}C_6$.

5 CONCLUSÕES

O aço inoxidável supermartensítico contendo Nb (SM2MoNb) apresentou melhor desempenho quanto a resistência à corrosão, apresentando o menor grau de

sensitização e maior potencial de pite em todas as temperaturas de revenimento estudadas.

A melhor condição foi obtida na temperatura de revenimento de 575°C no aço 2MoNb, apresentado o potencial de pite mais alto e grau de sensitização desprezível. E a pior desempenho foi obtido na condição de revenimento a 550°C no aço SM2Mo já que apresentou o maior grau de sensitização.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração CBMM e a CNPq pelo auxílio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] METALLURGY AND PROPERTIES OF WROUGHT STAINLESS STEEL. In: ASM SPECIALTY HANDBOOK: Stainless Steel. Materials park, ASM international. p.13-24, 1994.
- [2] SUGIMOTO, K and SAWADA, Y. The role of molybdenum additions to austenitic stainless steels in the inhibition of pitting in acid chloride solution Corros. Sci. 17: 425, 1979.
- [3] HASHIMOTO, K; ASAMI, K; and TERAMOTO, K. An X-ray photo-electron spectroscopic study on the role of molybdenum in increasing the corrosion resistance of ferritic stainless steels in HC1. Corros. Sci. 19: 3, 1970.
- [4] URQUIDI, M and MACDONAL, D, D. Solute-Vacancy Interaction Model and the Effect of Minor Alloying Elements on the Initiation of Pitting Corrosion. J, Electrochem. Soc. 132: 533. 1985.
- [5] COUDREUSE, L; VERNEAU, M; DUFRANE, J. J. Sulfide stress cracking of weldable super-martensitic stainless steels: supermartensitic stainless steel 99, Brussels, Belgium, 1999, Belgium Welding Institute, Belgium, pp. 299-306, 1999.
- [6] TURNBULL, A; GRIFFITHS, A. Corrosion and Cracking of weldable 13 wt-%Cr martensitic stainless steel for application in the oil and gas industry. Corrosion Engineering, Science and Technology Vol. 38 No. 1, 2003
- [7] MA, XIAOPING; LIJUN, WANG; SUNDARESA, SUBRAMANIANAN; CHUNMING, LIU. Studies on Nb Microalloying of 13Cr Super Martensitic Stainless Steel. Metallurgical and Materials Transactions A. v, 43 pp, 4475-4486, 2012.
- [8] KIMURA, M; MIYATA, Y; TOYOOKA, T and KITAHABA Y. Effect of retained austenite on corrosion performance for modified 13%Cr Steel pipe. Corrosion-vol. 57, N.5 (2001).
- [9] ROZNOVSKA, G; VODAREK, V; KORCAK, A; TVRDÝ, M. The effect of heat treatment on microstructure and properties of a 13Cr6Ni2.5Mo supermartensitic steel. Sborník vědeckých prací vysoké školy báňské – Technické university Ostrava. Radahutnickaroc. 48 c. 1, p. 225-231, 2005.
- [10] PICON, C. A; FERNANDEZ, F. A. P; TREMILIOSI-FILHO. G; RODRIGUES, C. A. D e CASTELETTI, L. C. Estudo do mecanismo de corrosão por pites em água do mar de aços inoxidáveis supermartensíticos microligados com Nb e Ti. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto. Vol. 63, No. 1, p, 65-69, 2010.
- [11] RODRIGUES C. A. D; JORGE JR. A. M; MOTHEO A. J; TREMILIOSI-FILHO, G. Pitting corrosion of the Ni-high and Nb-microalloyed supermartensitic stainless steels. Em: anais do XXIII congresso da sociedade brasileira de microscopia e microanálise 15 a 18 de outubro 2011.
- [12] CAROLINA PASSANANTE; MARIANA PEREZ DE OLIVEIRA; WILMAR CALDERÓN HERNANDEZ; DUBERNEY HINCAPIÉ LADINO; NEUSA ALONSO-FALLEIROS. Influência da porcentagem da fase ferrita delta na resistência à corrosão por pite de um aço inoxidável supermartensítico. abm 69 (2014)