

"EFEITO DA ADIÇÃO DE COMPOSTOS DE ELEMENTOS REATIVOS NA RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO DO AISI 316L SINTERIZADO"(1)

Marina Fuser Pillis(2)

Lalgudi Venkataraman Ramanathan(3)

RESUMO

Elementos reativos como Ce, Y, Zr e Hf, entre outros, vêm sendo adicionados às ligas utilizadas em altas temperaturas, com o objetivo de aumentar sua resistência à oxidação. Estes elementos têm sido normalmente adicionados na forma elementar, na forma de uma dispersão de seus óxidos ou, ainda, aplicados superficialmente sobre o substrato metálico. Neste trabalho estão apresentados os resultados obtidos a partir da oxidação isotérmica e cíclica das ligas AISI 316L, AISI 316L+CeO₂, AISI 316L+Y₂O₃ e do AISI 316L recoberto superficialmente com óxidos de Ce, Y e Nd, obtidos a partir de soluções aquosas dos respectivos nitratos. Os ensaios isotérmicos foram efetuados a 900, 1000 e 1100°C por períodos de até 20h, e os cíclicos constaram de 6 ciclos de 2h cada a 900°C. Observou-se que as adições superficiais melhoram a resistência à oxidação do AISI 316L, mas a oxidação das ligas contendo óxidos de Ce e de Y, obtidas via metalurgia do pó, necessitam ainda de maior estudo.

Palavras-chaves: Oxidação, AISI 316L, Elementos Reativos,

(1) - Contribuição técnica a ser apresentada no 50º Congresso Anual da ABM, São Pedro, SP, 01/08/95 a 04/08/95.

(2) - Engenheira Metalurgista, aluna de pós-graduação do IPEN, São Paulo, SP.

(3) - Membro da ABM, Doutor em Metalurgia, pesquisador do IPEN, São Paulo, SP.

INTRODUÇÃO

As ligas para utilização em altas temperaturas devem ter propriedades mecânicas adequadas, além de serem resistentes à degradação química, devido à reação com o ambiente a que estão expostas [1, 2]. As ligas normalmente utilizadas são à base de Fe, Ni ou Co, porque estes metais têm pontos de fusão relativamente altos, porém seus óxidos, não são suficientemente protetores para aplicações que envolvam temperaturas superiores a, aproximadamente, 550°C[1]. Dessa forma, as ligas para estas aplicações contêm outros elementos em quantidades suficientes para promover a formação de óxidos mais protetores como Cr_2O_3 , Al_2O_3 e, às vezes, SiO_2 [3]. As ligas também contêm adição de outros elementos para assegurar propriedades mecânicas adequadas a altas temperaturas. Idealmente, o óxido formado deve ser estequiométrico, para que o transporte de íons metálicos ou de oxigênio através de seu reticulado seja lento; deve ser isento de poros, trincas ou defeitos, prevenindo, dessa forma, o transporte das espécies via caminhos de "curto-circuito"; deve manter-se isento de tensões térmicas, para que se reduza a possibilidade de escamação e, deve não reagir com o meio a que está exposto [1]. Infelizmente, óxidos com essas características são quase que impossíveis de serem obtidos e, muitas ligas utilizadas em altas temperaturas são susceptíveis à escamação.

A adição de terras raras a estas ligas tem melhorado algumas das propriedades do óxido, melhorando assim o nível de proteção da liga. As terras raras têm sido adicionadas às ligas na forma elementar, na forma de uma dispersão de seus óxidos ou ainda, aplicadas superficialmente sobre o substrato metálico.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A velocidade de reação é o parâmetro mais importante na oxidação de metais. Quando um metal reage com o oxigênio gasoso, o produto formado é um óxido e, se este não for volátil, fica retido sobre a superfície metálica. Dessa forma, a velocidade de oxidação é, geralmente, medida e expressa em ganho de peso por unidade de área.

De maneira geral, quando aços inoxidáveis ferríticos ou austeníticos, fundidos ou trabalhados, são aquecidos a temperaturas elevadas num gás oxidante, ocorre uma oxidação seletiva do cromo, produzindo um filme fino de Cr_2O_3 (este óxido contém traços de Fe ou de Fe e Ni, dependendo da composição da liga-base). A oxidação ocorre a velocidades pequenas, porque a difusão de cátions através deste óxido é extremamente lenta. É possível que, após algum tempo, dependendo da composição da liga e da temperatura, ocorra a quebra dessa película e, então, observe-se a ocorrência de um período de oxidação rápida, correspondente à formação de um óxido com estrutura duplex.

A camada de Cr_2O_3 que pode formar-se sobre a superfície das ligas é razoavelmente protetora até aproximadamente 900°C, quando exposta ao ar ou ao oxigênio. A temperaturas superiores, este óxido reage com o oxigênio formando CrO_3 , volátil. A volatilização do CrO_3 torna-se significativa para altas temperaturas e altas

pressões de oxigênio [4] e, resulta numa contínua diminuição na espessura da camada protetora de Cr_2O_3 , agilizando o transporte por difusão através dela. Inicialmente, quando a camada de óxido é fina, a difusão através dela é rápida e o efeito da volatilização do Cr não é significativo. Porém, conforme a camada torna-se mais espessa, as velocidades de difusão e de volatilização tornam-se comparáveis. Esta situação limita a espessura da camada de óxido e é função da temperatura.

O EFEITO DAS ADIÇÕES DE TERRAS RARAS

Devido à grande reatividade química e afinidade pelo oxigênio, os elementos de terras raras são difíceis de ser extraídos e, devido às similaridades químicas entre eles, é muito difícil de se separar uns dos outros. No entanto, essa mesma característica pode ser utilizada em benefício de outros metais, na forma de aumento da resistência à oxidação/corrosão em altas temperaturas e da inibição da corrosão em ambientes aquosos [5].

As terras raras têm sido adicionadas às ligas na forma elementar, na forma de uma dispersão de seus óxidos ou ainda, aplicadas superficialmente sobre o substrato metálico. Os óxidos de terras raras estão entre os mais estáveis termodinamicamente e, por essa razão, devem promover um alto nível de proteção, quando aplicados como revestimento ao substrato das ligas metálicas utilizadas em altas temperaturas, considerando-se que seu efeito primário seria atuar como uma barreira ao transporte de oxigênio [3].

A mais simples aproximação para formar revestimentos finos de óxidos de terras raras, com o propósito de que estes participem no aumento da proteção contra a corrosão/oxidação, deriva da decomposição, a altas temperaturas, de filmes de nitratos de terras raras, obtidos após imersão ou aplicação por spray, de solução aquosa ou alcoólica dos nitratos, para formar óxidos de terras raras. Nota-se que, para uma melhor eficiência de recobrimento, o óxido de terras raras é aplicado sobre o substrato metálico pré-oxidado [6]. Outros métodos para aplicação de revestimentos de óxidos de terras raras usam "lamas" desses óxidos em suspensão alcoólica ou técnicas de sol-gel. O recobrimento superficial tem como vantagens o baixo custo do processo, a facilidade de aplicação, além da não modificação da microestrutura da liga [6].

Vários mecanismos foram propostos para explicar as melhorias propiciadas pela adição de elementos como Hf, Zr, Ce e Y ou uma dispersão de seus óxidos, porém ainda sem um consenso geral e, incluem: (a) atuação como sítios preferenciais para a nucleação de óxidos [7, 8]; (b) modificação da microestrutura do óxido, podendo, como consequência, modificar as velocidades de difusão e as tensões na camada de óxido [9, 10]; (c) redução do acúmulo de vazios na interface metal/óxido [11, 12]; (d) formação de uma camada intermediária de óxido, contendo os elementos reativos, a qual atua como uma barreira à difusão [13]; (e) modificação das propriedades mecânicas do óxido [9]; (f) promoção de efeito de enclavamento mecânico [11]; (g) alteração do mecanismo de crescimento do óxido que passa de difusão predominantemente catiônica para predominantemente aniônica [3,14,15].

OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo estudar as alterações promovidas pela adição de compostos de elementos reativos sobre o comportamento de oxidação isotérmica e cíclica da liga AISI 316L.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação das Ligas

Pós de AISI 316L, AISI 316L+CeO₂ e AISI 316L+Y₂O₃ foram homogeneizados por 20 minutos em um misturador tipo túrbula e, de posse das curvas de compressibilidade dos mesmos, optou-se pela pressão de 6 tf/cm². Os pós foram então compactados sob essa pressão, em prensa uniaxial de matriz flutuante, obtendo-se pastilhas que, a seguir, foram sinterizadas por 2h a 1250°C, sob vácuo de 10⁻⁴ torr. Após a sinterização foi feito controle dimensional, bem como medidas de densidade hidrostática. O acabamento superficial foi feito em papéis abrasivos de carbetto de silício com granulometrias de até 600 mesh. A seguir, procedeu-se a novo controle dimensional, acusando amostras de, aproximadamente, Ø10x1,5 mm. Posteriormente, as amostras foram lavadas em água e sabão e desengraxadas em acetona, secas e pesadas em balança analítica.

A composição química nominal das ligas consta na tabela I.

Partindo-se de corpos de prova do AISI 316L, preparados conforme procedimento acima descrito, procedeu-se à adição superficial de terras raras. Inicialmente, as amostras foram pré-oxidadas ao ar por 5 minutos a 350°C e, em seguida, imersas em soluções aquosas dos nitratos de terras raras, a saber: Ce(NO₃)₃, Y(NO₃)₃ e Nd(NO₃)₃.

Ensaio de Oxidação

Os ensaios de oxidação isotérmica foram efetuados a 900, 1000 e 1100°C por períodos de até 20h. Os ensaios cíclicos consistiram de 6 ciclos de 2h cada, a 900°C, com resfriamento das amostras até a temperatura ambiente entre os ciclos. Todos os ensaios foram feitos ao ar, em forno tipo mufla.

Métodos de Avaliação

O comportamento de oxidação das diversas ligas foi avaliado por meio do ganho de peso por unidade de área. A partir destes dados foram levantadas curvas que demonstram esse comportamento.

Paralelamente, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura, acoplado a um equipamento de análise de micro-regiões por energia dispersiva (EDS), para

auxiliar a identificação dos constituintes dos óxidos formados. Utilizou-se também técnicas de difração de raios-X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos Materiais

Na tabela I estão apresentadas as composições químicas nominais das ligas, obtidas por fluorescência de raios-X.

Tabela I: Composição Química Nominal das Ligas

	Composição Química (%peso)											
	Cr	Ni	Mn	Mo	Fe	C	S	Si	P	O*	N*	
AISI316L	18.0	12.9	<0.5	2.6	bal.	0.028	0.006	0.7	0.023	1813	300	
AISI316L+CeO ₂	17.6	12.7	<0.5	2.3	bal.	-	-	1.7	0.016			
AISI316L+Y ₂ O ₃	17.7	14	<0.5	2.1	bal.	-	-	0.8	<0.010			

*ppm

A quantidade de pós de CeO₂ ou Y₂O₃ adicionada às ligas foi de 1% em peso. Após a confecção das pastilhas, procedeu-se apenas à análise qualitativa dos elementos de terras raras, onde constatou-se sua presença.

Todas as amostras apresentaram medidas de densidade hidrostática superiores a 90% da densidade teórica.

Ensaio isotérmico

Oxidação das ligas AISI 316L, AISI 316L+CeO₂ e AISI 316L+Y₂O₃

Na figura 1a estão apresentadas as curvas de oxidação do AISI 316L, sinterizado, oxidado a 900, 1000 e 1100°C. O óxido formado sobre a superfície apresentou coloração cinza-escura. Observa-se que para 5h a 1100°C a taxa de oxidação cai ao nível de 5h a 1000°C, provavelmente pela formação de produtos de oxidação voláteis. A liga passou a sofrer escamação a partir de 5h a 1100°C.

Na figura 1b estão apresentadas as curvas obtidas para o AISI 316L+CeO₂, oxidado a 900, 1000 e 1100°C. Pode-se observar que para 5h a 1100°C, desaparece a perda de massa observada no material sem adições. A liga não sofreu qualquer escamação, mesmo após 20h a 1100°C.

Na figura 1c estão apresentadas as curvas de oxidação do AISI 316L+Y₂O₃, sinterizado, oxidado a 900, 1000 e 1100°C, por períodos de até 20h. Pode-se observar que, para 5h a 1100°C, ocorreu ligeira perda de peso, podendo ser devida à formação

de produtos de oxidação voláteis. O material não sofreu qualquer escamação, mesmo após 20h a 1100°C.

O fato de as ligas com adição de CeO_2 ou Y_2O_3 não terem sofrido qualquer escamação no período, enquanto que a liga sem adições o fez, pode indicar um aumento na aderência da camada oxidada, na presença dessas adições.

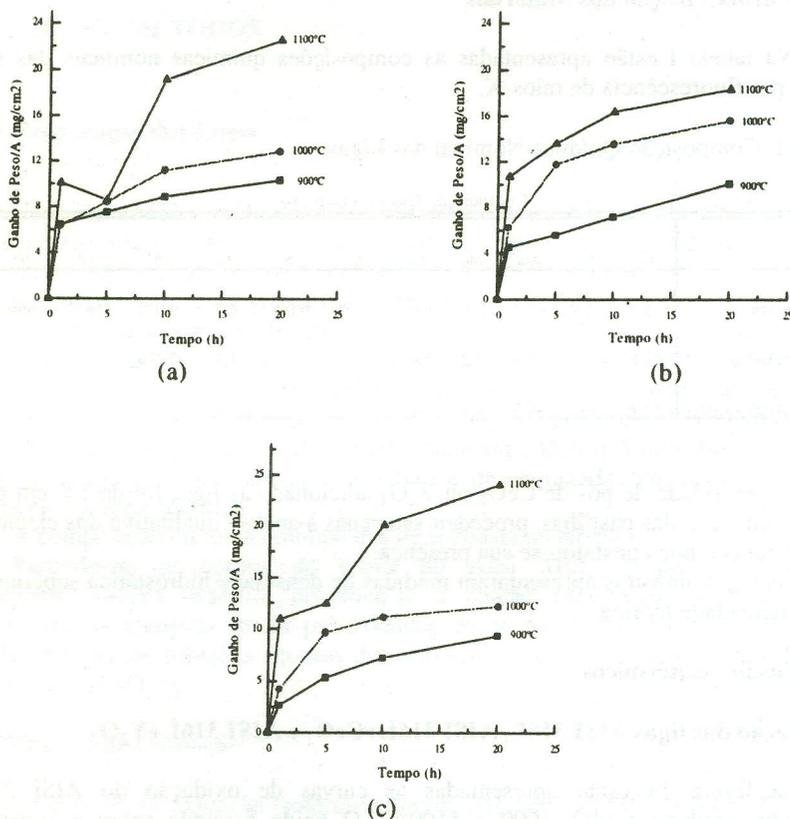


Figura 1: Ganho de peso por unidade de área a 900, 1000 e 1100°C. (a) AISI 316L, (b) AISI 316L+ CeO_2 e (c) AISI 316L+ Y_2O_3

Na figura 2a está apresentada a micrografia eletrônica de varredura da superfície do AISI 316L, oxidado 5h a 1000°C. Análises via difração de raios-X mostraram que o principal óxido formado sobre a superfície é Cr_2O_3 .

A figura 2b é a micrografia eletrônica de varredura da seção transversal da mesma amostra da figura 2a. Pode-se observar a presença de uma camada aderente de óxido sobre a superfície metálica, bem como, a oxidação de poros interconectados.

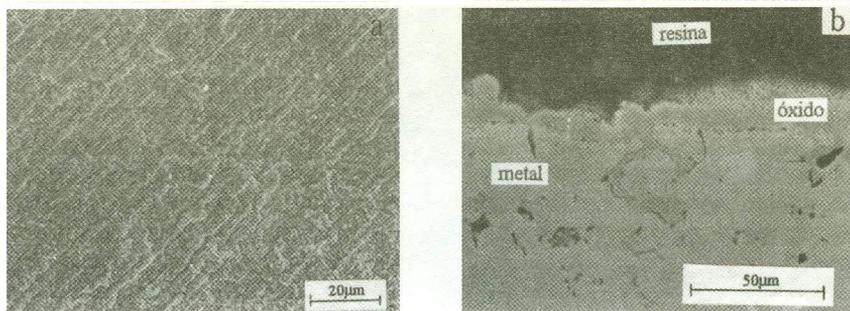


Figura 2: Micrografias eletrônicas de varredura da liga AISI 316L oxidada por 5h a 1000°C. (a) superfície e, (b) secção transversal.

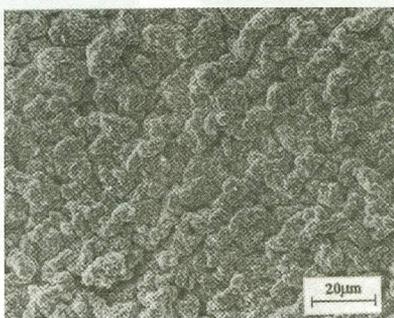


Figura 3: Micrografia eletrônica de varredura da superfície do AISI 316L oxidado por 5h a 1100°C.

Na figura 3 está apresentada a micrografia eletrônica de varredura da superfície do AISI 316L, oxidado por 5h a 1100°C. Comparando-se as figuras 2a e 3, pode-se observar grande aumento do tamanho de grão do óxido, em função do aumento da temperatura.

A figura 4 é a micrografia eletrônica de varredura da secção transversal do AISI 316L, oxidado 20h a 1000°C.

Comparando-se as figuras 2b e 4, observa-se que, na mesma temperatura, com o aumento do tempo de oxidação, vai ocorrendo um destacamento da camada mais superficial de óxido.

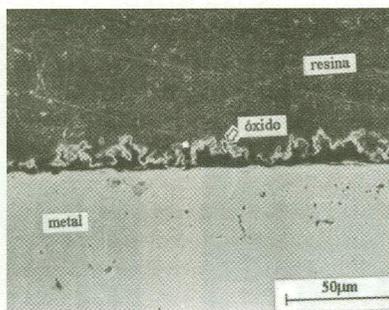


Figura 4: Micrografia eletrônica de varredura da seção transversal do AISI 316L oxidado 20h a 1000°C.

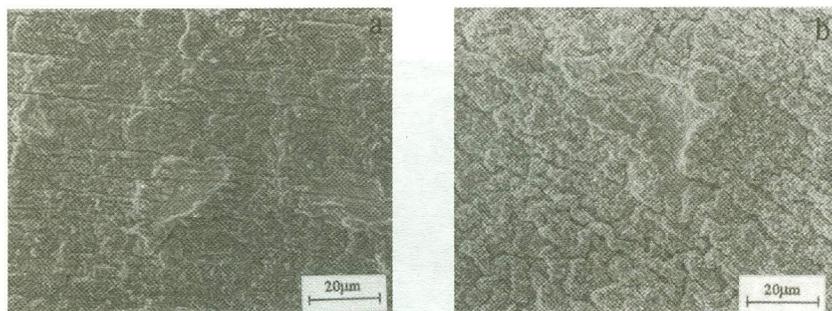


Figura 5: Micrografias eletrônicas de varredura da superfície da liga AISI 316L+CeO₂. (a) amostra oxidada por 5h a 1000°C e (b) amostra oxidada 5h a 1100°C.

Na figura 5a está apresentada a micrografia eletrônica de varredura da superfície do AISI 316L+CeO₂, oxidado 5h a 1000°C. Medidas via difração de raios-X mostraram que o óxido formado sobre a superfície é principalmente Cr₂O₃ e, acusaram a presença de CeO₂. Medidas via EDS indicaram que o CeO₂ encontra-se na região entre partículas.

Na figura 5b observa-se a micrografia eletrônica de varredura da superfície do mesmo material da figura 5a, oxidado por 5h a 1100°C. O CeO₂ permaneceu na mesma posição. Pode-se observar ligeiro aumento do tamanho de grão do óxido, com o aumento da temperatura de oxidação. Comparando-se as figuras 5a e 5b, pode-se observar o aumento do tamanho de grão do óxido com o aumento da temperatura de oxidação. Pela análise das figuras 3 e 5b, pode-se observar que a amostra contendo

adição de CeO_2 proporcionou a formação de um óxido com menor tamanho de grão sobre a superfície, a 1100°C . A 1000°C , figuras 2a e 5a, não há variação sensível no tamanho de grão dos óxidos.

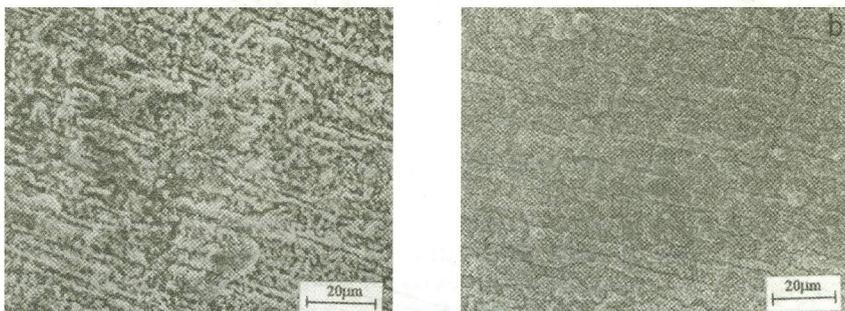
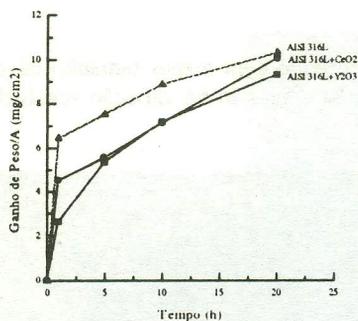


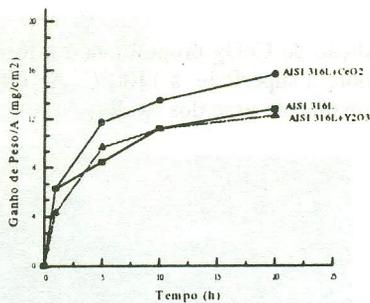
Figura 6: Micrografias eletrônicas de varredura da superfície da liga AISI 316L+ Y_2O_3 . (a) amostra oxidada 5h a 1000°C e, (b) amostra oxidada 5h a 1100°C .

Na figura 6a, está apresentada a micrografia eletrônica de varredura da superfície do AISI 316L+ Y_2O_3 , oxidado por 5h a 1000°C . Análises via difração de raios-X indicaram que o principal óxido formado na superfície foi Cr_2O_3 . A figura 6b é a micrografia eletrônica de varredura da mesma liga, oxidada por 5h a 1100°C . Observa-se que o tamanho de grão do óxido a 1100°C é ligeiramente maior que a 1000°C . O óxido formado sobre a liga AISI 316L+ Y_2O_3 após oxidação por 5h a 1100°C , figura 6b, tem tamanho de grão sensivelmente menor que o formado sobre a liga sem adições, figura 3.

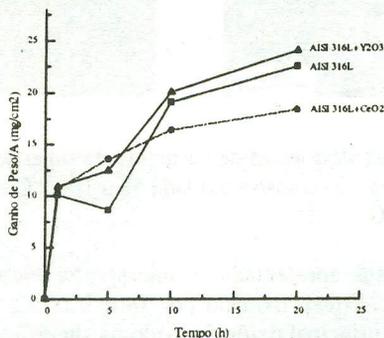
Nas figuras 7a, 7b e 7c estão apresentadas as curvas de oxidação do AISI 316L, AISI 316L+ CeO_2 e AISI 316L+ Y_2O_3 , oxidados a 900, 1000 e 1100°C , respectivamente. Na figura 7a pode-se observar que, para curtos períodos de oxidação, as taxas do AISI 316L são as maiores, e que o AISI 316L+ Y_2O_3 apresentou as menores taxas. Porém, para períodos maiores de tempo, as taxas de oxidação das três ligas tendem a um valor muito próximo. Na figura 7b pode-se observar que o material contendo adição de CeO_2 detém as maiores taxas de oxidação. Entretanto, a 1100°C , esta liga apresentou-se mais resistente à oxidação, como pode ser observado pela análise da figura 7c. Os resultados aqui obtidos permitem supor que, para estas condições de oxidação, as velocidades de formação de Cr_2O_3 e de difusão de Cr, na camada oxidada, para a formação de Cr_2O_3 são comparáveis. Dessa forma, a espessura da camada protetora de Cr_2O_3 torna-se limitada pela volatilização do Cr_2O_3 , comprometendo o nível de proteção por ela oferecido à liga.



(a)



(b)



(c)

Figura 7: Ganho de peso por unidade de área do AISI 316L, AISI 316L+CeO₂ e AISI 316L+Y₂O₃, oxidados a: (a) 900°C, (b) 1000°C e (c) 1100°C.

Oxidação da liga AISI 316L com e sem recobrimentos superficiais

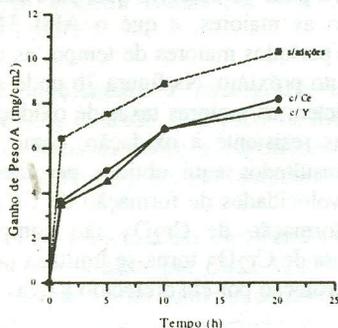


Figura 8: Ganho de peso por unidade de área da liga AISI 316L sem adições e com recobrimentos de Ce ou Y.

Na figura 8 estão apresentadas as curvas obtidas a partir da oxidação isotérmica do AISI 316L sem adições e com recobrimentos de compostos de Ce e Y, a 900°C. Pode-se observar que as ligas recobertas com óxidos de terras raras apresentaram menores taxas de oxidação que a liga sem recobrimento, para qualquer tempo. Além disso, ambas as adições promoveram um comportamento similar. Nenhuma das ligas sofreu qualquer escamação.

Ensaio Cíclicos

Oxidação das ligas AISI 316L, AISI 316L+CeO₂ e AISI 316L+Y₂O₃

Na figura 9 estão apresentados os resultados dos ensaios de oxidação cíclica do AISI 316L, AISI 316L+CeO₂ e AISI 316L+Y₂O₃. Pode-se observar que a liga AISI 316L+CeO₂ apresentou as menores taxas de oxidação após o 6º ciclo, enquanto que o AISI 316L+Y₂O₃ apresentou a maior. Nenhuma das ligas sofreu escamação, mesmo após o 6º ciclo de oxidação.

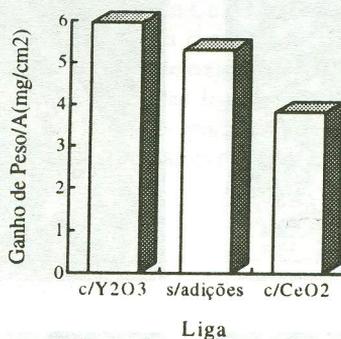


Figura 9: Ganho de peso por unidade de área do AISI 316L sem adições e com a adição de pós de CeO₂ ou Y₂O₃, após o 6º ciclo de oxidação.

Oxidação da liga AISI 316L com e sem recobrimentos superficiais

Na figura 10 estão apresentados os resultados dos ensaios de oxidação cíclica do AISI 316L com e sem a adição superficial de terras raras. Observa-se que as adições de terras raras diminuíram as taxas de oxidação, e que estas são bastante próximas. As ligas não sofreram escamação, mesmo após o 6º ciclo.

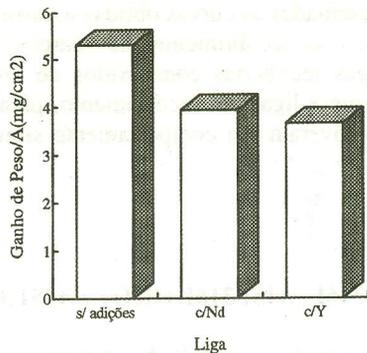


Figura 10: Ganho de peso por unidade de área do AISI 316L com e sem recobrimento de compostos de Nd e Y, após o 6º ciclo de oxidação.

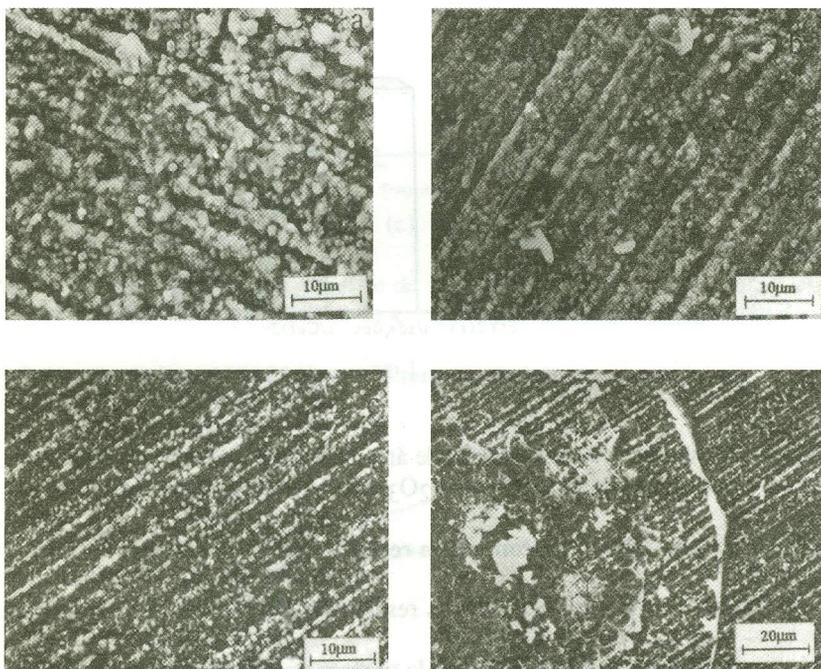


Figura 11: Micrografias eletrônicas de varredura do AISI 316L com e sem recobrimentos superficiais, após o 6º ciclo de oxidação. (a) sem adições, (b) recoberto com óxido de neodímio, (c) recoberto com óxido de ítrio e, (d) detalhe de (c).

Nas figuras 11a, 11b e 11c estão apresentadas as micrografias eletrônicas de varredura da superfície do AISI 316L, AISI 316L recoberto com óxido de neodímio e AISI 316L recoberto com óxido de ítrio, respectivamente, após o 6º ciclo de oxidação. A figura 11d é a mesma amostra da figura 11c, onde observa-se a presença de depósitos do material do recobrimento sobre uma região homogênea de óxido. Medidas via EDS efetuadas nessa superfície acusaram a presença de ítrio.

Pode-se observar, pela análise das figuras 11a, 11b e 11d, que a amostra sem adições tem o maior tamanho de grão e que a amostra recoberta com ítrio, o menor.

CONCLUSÕES

- 1) O tamanho de grão do óxido aumenta com o aumento da temperatura de oxidação.
- 2) A liga AISI 316L+CeO₂ apresentou as menores taxas de oxidação a 1100°C, provavelmente pela inibição (parcial ou não) da formação de CrO₃, volátil. Também para os ensaios cíclicos esta liga deteve as menores taxas de oxidação, após o 6º ciclo, em relação ao AISI 316L+Y₂O₃ e à liga sem adições.
- 3) As adições superficiais de compostos de Ce ou Y diminuem as taxas de oxidação no ensaio isotérmico a 900°C. Também para o ensaio cíclico, as adições superficiais de Nd ou Y proporcionaram menores taxas de oxidação.
- 4) A formação de Cr₂O₃ na superfície das ligas oxidadas ocorre, tanto para aquelas onde foi adicionado CeO₂ ou Y₂O₃, quanto para liga sem adições.
- 5) A adição de CeO₂ ou de Y₂O₃, via metalurgia do pó, ao AISI 316L, parece aumentar a aderência da camada de óxido formada.

AGRADECIMENTOS

A Selma Luiza Silva pela execução das análises de difração de raios-X e a Edval Gonçalves de Araújo pelo auxílio em microscopia eletrônica.

BIBLIOGRAFIA

1. STOTT, F.H. Influence of alloy additions on oxidation. *Materials Science and Technology*, v.5, p.734-40, 1989.
2. PETTIT, F.S. & GOWARD, G.W. High temperature corrosion and use of coatings for protection. *The Metallurgical Society of AIME*, p.170-86, 1981.
3. HOU, P.Y. & STRINGER, J. The effect of surface-applied reactive metal oxides on the high temperature oxidation of alloys. *Materials Science and Engineering*, p.295-302, 1987.
4. BIRKS, N. & MEIER, G.H. *Introduction to high temperature oxidation of metals*. Edward Arnold, London, 1983.

5. RYAN, N.E. Rare earths in high and low temperature corrosion protection. *The Minerals, Metals and Materials Society*, p.389-405, 1981.
6. LANDKOF, M. et al. The effect of surface additives on the oxidation of chromia-forming alloys. *NACE*, p.344-57, 1985.
7. GIGGINS, C.S. & PETTIT, F.S. Oxidation of Ni-Cr-Al alloys between 1000° and 1200°C. *J.Electrochem.Soc.*, v.118, No.11, p.1782-1790, 1971.
8. RHYS-JONES, T.N.et al. The effects of various amounts of alloyed cerium and cerium oxide on the high temperature oxidation of Fe-10Cr and Fe-20Cr alloys. *Corrosion Science*, v.27, No.1, p.49-73, 1987.
9. MOON, D.P. Role of reactive elements in alloy protection. *Materials Science and Technology*, v.5, p.754-64, 1989.
10. HUNTZ, A.M. Influence of active elements on the oxidation mechanism of M-Cr-Al alloys. *Materials Science and Engineering*, p.251-60, 1987.
11. GIGGINS, C.S. et al. Factors affecting adhesion of oxide scales on alloys. *Metall.Trans.*, v.5, p.1685-1689, 1974.
12. TIEN, J.K. & PETTIT, F.S. Mechanism of oxide adherence on Fe-25Cr-4Al(Y or Sc) alloys. *J.Metall.Trans.*, v.3, p.1587-1599, 1972.
13. RHYS-JONES, T.N. & GRABKE, H.J. Use of cerium oxide additions to improve high temperature oxidation behaviour of Fe-Cr alloys. *Materials Science and Technology*, v.4, p.446-54, 1988.
14. PIERAGGI, B. & RAPP, R.A. Chromia scale growth in alloy oxidation and the reactive element effect. *J.Electrochem.Soc.*, v.140, No.10, p.2844-2850, 1993.
15. HUSSEY, R.J. et al. The effect of ceria coatings on the high-temperature oxidation of iron-chromium alloys. *Materials Science and Engineering*, p.147-51, 1989.

Effect of Reactive Element Compound Addition on the Oxidation Resistance of Sintered AISI 316L

ABSTRACT

Reactive elements such as Ce, Y,Zr, Hf, etc., are added to high temperature alloys to increase their oxidation resistance. These elements are added either in the elemental form or as a dispersion of their oxides or applied superficially. This paper presents the isothermic and cyclic oxidation behavior of AISI 316L, AISI 316L+CeO₂, AISI 316L+Y₂O₃ and AISI 316L coated with Ce, Y and Nd oxides. The isothermal tests were carried out at 900°, 1000° and 1100°C for up to 20h and the cyclic oxidation tests consisted of 6 cycles of 2h each at 900°C. Superficial addition of rare earth oxides improved the oxidation resistance of AISI 316L where as in the presence of rare earth oxide dispersions the behavior was ambiguous and this requires further investigation.

Key-Words: Oxidation, AISI 316L, Reactive elements.