

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE COBRE NOS AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 304L E 316L SINTERIZADOS



Mauricio David Martins das Neves
Isolda Costa
Francisco Ambrózio Filho
Ricardo Massayuki Sakamoto
Rubens Y. Taniguchi

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049, CEP 05422-970, São Paulo- BRASIL

RESUMO

Neste trabalho estuda-se o efeito das adições de cobre, sobre a sinterabilidade, comportamento mecânico e de corrosão dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304L e 316L. As amostras com adições de cobre de 2, 4, 8, 15 e 20% (% peso) foram sinterizadas em atmosfera redutora N_2-5H_2 , a 1150 °C, durante 3600 segundos. Através de ensaios dimensionais verificou-se que o cobre exerce uma influência diferente no parâmetro de sinterização dos dois aços estudados. Os resultados mecânicos e de corrosão foram analisados e correlacionados com a microestrutura do sinterizado.

1. INTRODUÇÃO

Os produtos sinterizados de aços inoxidáveis fazem parte de um pequeno grupo, mas de importância significativa dentro da metalurgia do pó, apresentando nos últimos anos um rápido crescimento de demanda. Entretanto, a presença de porosidade, nestes sinterizados têm limitado sua utilização, devido à redução nas características mecânica e de corrosão, em relação aos similares produzidos por técnicas de fundição e conformação mecânica. Com o objetivo de melhorar estas propriedades algumas técnicas vêm sendo estudadas dentro da metalurgia do pó. Uma delas consiste na adição de pós de elementos de liga ^(1,2) aos inoxidáveis, entre os quais o pó de cobre é um dos mais utilizados.

A literatura apresenta alguns trabalhos sobre a influência do cobre nos inoxidáveis, onde observa-se uma melhoria na compressibilidade da mistura e possibilidade de sinterizar em condições industriais, tais como, atmosferas a base de nitrogênio e fornos do tipo esteira ⁽³⁾. A presença do cobre diminui a absorção de nitrogênio da atmosfera de sinterização e aumenta a sinterabilidade em função da presença de fase líquida ⁽⁴⁾.

Algumas pesquisas para o sistema Fe-Cu ^(5,6) indicaram que a fase líquida originária da adição de cobre, pode ser transiente ou permanente. Esta fase ativa a sinterização, mas pode causar porosidade adicional, além daquela originária da compactação. A porosidade secundária provoca expansão do sinterizado e pode ser utilizada para compensar as contrações durante a sinterização. Verificou-se um aumento de algumas propriedades mecânicas, atribuído aos mecanismos de endurecimento por precipitação do cobre ⁽⁵⁾.

Molinari ⁽⁷⁾ estudando o efeito do cobre no AISI 316L, observou uma queda nas resistências ao escoamento e ruptura, dureza e alongamento para teores até 9% de cobre. Outros autores ⁽⁸⁾ verificaram para o AISI 304L com até 4% de cobre, uma pequena diminuição na resistência a tração e aumento desta propriedade e do alongamento para teores de cobre superiores, nos aços AISI 304L e AISI 316L.

Seminário Regional de Metalurgia de
Polvos y Sistemas Particulados, Chile,
23-23 de outubro, 1995 IPEN-DOC-2873

A literatura apresenta diversos trabalhos sobre o aumento da resistência à corrosão dos inoxidáveis sinterizados, mediante adições de até 5% em peso^(9,10). No entanto outros autores⁽¹¹⁾ assumem que a adição de cobre aumenta a resistência à corrosão, pela redução da precipitação de nitretos de cromo, fator responsável pela descontinuidade do filme passivo. Fedrizzi et al.⁽¹²⁾ mostram que a adição de cobre aumenta a porosidade o que diminuiria a resistência a corrosão, e em quantidade suficiente para produzir cobre livre, favoreceria a passivação do material.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento dimensional, mecânico, microestrutural e de corrosão dos inoxidáveis AISI 304 L e AISI 316L sinterizados, sem e com adição de cobre correspondentes a 2, 4, 8, 15 e 20% em peso.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os pós dos inoxidáveis AISI 304L e AISI 316L (< 150µm) foram misturados com cobre (3-5µm), em porcentagens de 2, 4, 8, 15 e 20%, em peso. Compactaram-se as amostras a 700 MPa, em matriz uniaxial. Posteriormente, as amostras foram pesadas, caracterizadas dimensionalmente e calculadas as densidades a verde (ρ_v). As sinterizações realizaram-se em forno esteira sob atmosfera redutora (N_2-10H_2), a 1150 °C, em 3600s.

Determinaram-se nos sinterizados a porcentagem de nitrogênio absorvido da atmosfera, a densidade do sinterizado (ρ_s) e o parâmetro de sinterização (Y). O valor de Y foi calculado pela relação: $Y = (\rho_s - \rho_v) / (\rho_t - \rho_v)$, onde ρ_t = densidade teórica.

O comportamento mecânico foi estimado por ensaios de dureza e tração. O ensaio de dureza foi realizado na escala Rockwell B (HRb), sendo efetuadas 05 medidas em cada corpo de prova. Determinou-se a tensão de ruptura (σ_T) e o alongamento (A) a partir do ensaio de 03 amostras de composição similar.

A resistência a corrosão foi estudada por ensaios de perda de massa. Este ensaio foi realizado seguindo as etapas: corte, limpeza, pesagem das amostras, imersão na solução de ensaio ($H_2SO_4-0,5M-20^\circ C$). Após períodos pré-determinados as amostras eram removidas, lavadas, limpas em ultra-som com acetona, secadas em estufa a 150 °C e novamente pesadas em balança analítica. A taxa de corrosão foi determinada pela perda de massa da amostra, em relação a sua massa inicial.

A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), estudando-se a morfologia dos poros e a distribuição do cobre na matriz.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento dimensional

A influência do cobre sobre o parâmetro de sinterização é apresentada na tabela 1. Observa-se que nas amostras sem adição de cobre o valor do parâmetro de sinterização é positivo, ocorrendo portanto, contração nestas amostras. O parâmetro de sinterização para amostras com cobre apresentou uma tendência de decréscimo para ambos os aços, passando para valores negativos (expansão). A interação do cobre com a matriz é a responsável pelo inchamento. A fase líquida penetra pelos contornos de grão da matriz, formando pequenos poros, denominada neste trabalho de porosidade secundária.

Segundo os dados da tabela 1, verifica-se uma diferença de comportamento dos dois aços sinterizados. O aço AISI 304L apresentou valores negativos para o parâmetro de sinterização somente a partir de 15% de cobre, enquanto para o AISI 316L este valor foi a partir de 4% de cobre. Estes resultados estão de acordo com a literatura⁽⁴⁾, segundo a qual, a interação do cobre com a matriz é maior no AISI 316L, gerando maior expansão.

Tabela 1: Características dimensionais e mecânicas das amostras sinterizadas

	%Cu	ρ_t [g/cm ³]	ρ_v [g/cm ³]	ρ_s [g/cm ³]	Y	HRb	σ_T [MPa]	A [%]	%N [ppm]
AISI 304L	0	7,90	6,35	6,48	0,08	85	321	5,8	6900
	2	7,92	6,39	6,46	0,05	83	314	5,9	6200
	4	7,94	6,46	6,50	0,03	80	289	5,6	5900
	8	7,98	6,58	6,59	0,02	77	297	5,4	5300
	15	8,05	6,79	6,78	-0,01	71	343	7,5	4700
	20	8,10	6,88	6,86	-0,02	68	324	6,9	4100
AISI 316L	0	7,90	6,40	6,50	0,070	87	358	6,4	6900
	2	7,92	6,51	6,52	0,007	84	356	6,1	6200
	4	7,94	6,58	6,56	-0,015	81	341	5,8	5700
	8	7,98	6,65	6,59	-0,045	76	333	5,9	5200
	15	8,05	6,83	6,69	-0,110	69	353	7,4	4600
	20	8,10	6,90	6,68	-0,180	64	341	7,0	3900

Comportamento Mecânico

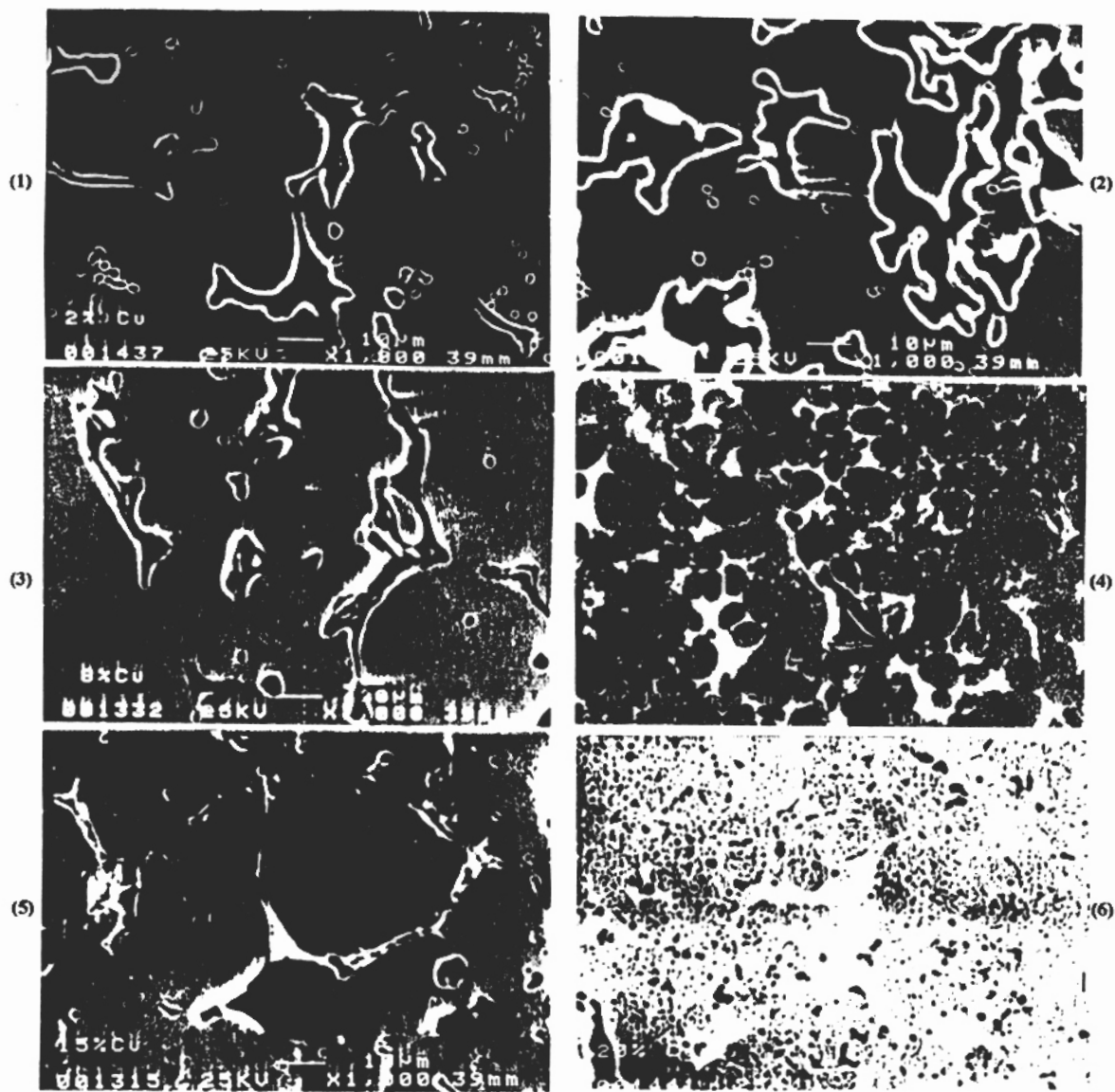
Na tabela 1 apresentam-se as propriedades mecânicas em função do teor de cobre. A dureza sofreu uma redução ocasionada pela diminuição da quantidade de nitrogênio absorvida, diminuindo a formação e precipitação de nitretos de cromo. Esta tendência foi observada nos dois aços estudados. A resistência a tração e o alongamento para amostras sem adição de cobre foram superiores para o AISI 316L. As amostras com adição de 2% cobre apresentaram valor próximo ao das amostras sem adição de cobre. Uma diminuição nas duas propriedades foi observada para as amostras com 4% e 8% de cobre, devido a porosidade deixada pelo cobre, sendo o efeito da porosidade maior do que a contribuição da precipitação do cobre na matriz. As amostras com 15% e 20% apresentaram para ambos os aços uma elevação destas propriedades (alongamento e resistência a tração).

Caracterização microestrutural

A caracterização microestrutural foi realizada por MEV. Verificou-se nos dois aços, porosidade irregular, tanto em amostras sem ou com pequenos teores de cobre. Amostras com cobre apresentaram porosidade regular (porosidade secundária), conforme figuras 1 a 6. A distribuição de cobre foi homogênea nos dois aços, para teores de 2% e 4%, não se observando a presença de fases líquidas, vide figuras 1 e 2. O aço 304L com adições de 8% e 15% exibiu maior quantidade de cobre livre, do que o aço 316L de teores similares, devido a maior interação do cobre com a matriz deste último. Observa-se na fig. 3 (AISI 316L-8%Cu) a ausência de fases líquidas. As figuras 4 e 5 mostram o cobre livre, respectivamente, para os aços 304L e 316L. A figura 6 (AISI 316L-20%Cu) apresenta grande quantidade de cobre livre. Esta tendência foi observada nos dois aços estudados.

Resistência à corrosão

Os ensaios de perda de massa indicaram aumento da resistência a corrosão para teores crescentes de cobre na liga AISI 304L, enquanto para o aço AISI 316L os melhores resultados foram obtidos para teores de 2% e 4% de cobre. A resistência a corrosão para o AISI 316L com 8% de cobre foi ligeiramente inferior, enquanto para teores de 15% e 20% a resistência a corrosão diminuiu significativamente. Estes resultados indicam que o efeito do teor de cobre é diferente para os dois aços estudados. No caso do AISI 316L a presença de cobre precipitado e a formação de células galvânicas foi aparentemente o efeito predominante na diminuição da resistência a corrosão para teores superiores a 8% de cobre. Esta explicação, todavia não se aplica ao aço AISI 304L. Embora a matriz tenha sido atacada alterando a coloração da superfície, este ataque não foi tão significativo e o que parece ter determinado a melhoria na resistência a corrosão, com o aumento do teor de cobre foi a alteração de parte da porosidade aberta para porosidade fechada.



4. CONCLUSÕES

1. A adição de cobre altera o comportamento dimensional dos aços durante a sinterização.
2. Teores de 4% e 8% de cobre diminuem a resistência a tração e alongamento e causam aumento da porosidade
3. A adição de cobre melhora a resistência a corrosão dos dois aços estudados

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chatterjee, S.K. et al: Modern Developments in Powder Metallurgy, vol.16 (1984)
2. Pao, M.A.; Klar,E.: Progress in Powder Metallurgy, vol.39 (1983)
3. Ambrózio, F.F. et al: Seminário de Metalurgia do Pó- ABM - São Paulo - (1991)
4. Tiziani, A. et al.: Powder Metallurgy, vol.32 (1989)
5. Danninger, H.: Powder Metallurgy International, vol.19, nº 1 (1987)
6. Phadke,V.B. and Davies B.L.: The Int. J. Powder Metall.&Powder Tecn., (2), (1977)
7. Molinari, A. et al.: Advances in Powder Metallurgy, (2), (1989)
8. Cambronero, L.E.G. et al.: Modern Developments in Powder Metall. (1983)
9. Costa, I. et al.: 50º Congresso Anual da ABM - São Paulo (1985)
10. Itzak, D. and Harush S.: Corrosion Sci., 25, (10), (1985)
11. Raghu, T.; Malhotra, S.N.; Ramakrisnan, P.: Corrosion, 45, (1989)
12. Fedrizzi, L. et al.: Br. Corr. J., 26, (1991)