

ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DE DUREZA DO AÇO AISI 316L REFORÇADO COM B₄C SINTERIZADO POR MICRO-ONDAS

EDERSON BITENCOURT DAS NEVES¹; MARGARETE R. F. GONÇALVES²;
ALICE GONÇALVES OSORIO³

¹Universidade Federal de Pelotas – edersonbn@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – margareterfg@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – osorio.alice@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma grande demanda no desenvolvimento de materiais com características e aplicações específicas visando à melhoria ou concepção de novos produtos. Muitos processos são utilizados no desenvolvimento desses produtos, dentre os processos de fabricação existentes, merece destaque a Metalurgia do Pó (M/P).

Angelo e Subramanian (2009) expõem a M/P como uma tecnologia de processamento mais antiga que o processo de fundição e se desenvolveu principalmente a partir do início do século XX para viabilizar o processamento de metais com elevado ponto de fusão e também na fabricação de metal duro para matrizes de conformação e extrusão (THÜMMLER e OBERACKER, 1993). Este processo de fabricação apresenta algumas vantagens como, por exemplo: controle rigoroso da composição química; perda mínima de matéria prima; bom acabamento superficial; uso mais eficiente de energia e boa tolerância dimensional (ASM, 2004; CHIAVERINI, 1992). Consiste basicamente nas etapas de compactação do pó ou mistura de pó cerâmico ou metálico; modelamento no formato final desejado e o aquecimento (etapa conhecida como sinterização).

A sinterização de materiais por micro-ondas oferece muitas vantagens sobre aquecimento resistivo (mais empregado na indústria) com destaque para tempos de ciclo muito mais curtos, microestruturas mais refinadas que conduzem a produtos de melhor qualidade, e uma enorme economia de energia (CHHILLARET *al.*, 2008; AGRAWAL, 2013).

O presente trabalho visa avaliar a microestrutura e microdureza vickers (HV) de aço inoxidável austenítico AISI 316L reforçado com 3% em peso de carbeto de boro (B₄C) sinterizado por micro-ondas.

2. METODOLOGIA

Foi utilizado pó de aço inoxidável 316L atomizado em água e carbeto de boro comercial. O material foi adquirido junto à empresa Brats. A Tabela 1 apresenta a composição química típica do AISI 316L e na Tabela 2 o pó de B₄C.

Tabela 1- Composição química do aço inoxidável 316L

SAE 316L	C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo	Fe
(%)	≤ 0,03	máx. 2	0,045	0,750	10 -14	16 - 18	2 -3	Bal.

Fonte: (ASTM, 2004)

Tabela 2- Composição química do carbeto de boro

Tipo	Descrição	Área superficial (BET) m²/g				Densidade a verde	
Grade HS	Pó para sinterização	15-20				1,6 – 1,8 g/cm³	
Composição química							
Elemento	C	N	O	Fe	Si	Al	Outros
(%)	mín. 21,8	max. 0,7	max. 1,7	max. 0,05	max. 0,15	max. 0,05	max. 0,5

Fonte: H. C. Starck

O trabalho foi dividido nas etapas de preparação e análise. Na primeira etapa foram realizadas as análises do pó do AISI 316L e do carbeto de boro por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por difração de raios X (DRX). A seguir foram realizados os procedimentos experimentais com as etapas de mistura do pó de AISI 316L com 3% em peso de B₄C; conformação das pastilhas em uma matriz uniaxial de duplo efeito de diâmetro de 10 mm a uma pressão de compactação de 750 MPa. Foram sinterizadas em uma isoterma de 1100°C durante o tempo de 15 minutos para A1 e 60 minutos para A2.

Na etapa final foram realizadas análises por microscopia óptica e ensaio de microdureza Vickers.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1 e 2 apresentam imagens por MEV do pó de aço inoxidável AISI 316L e do pó de carbeto de boro, respectivamente.

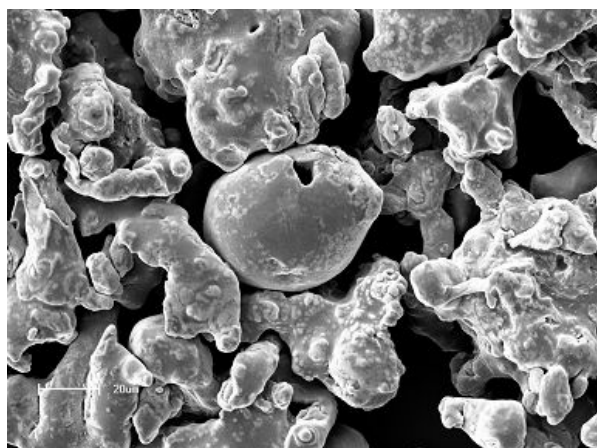


Figura 1: pó de aço inoxidável AISI 316L com aumento de 500x

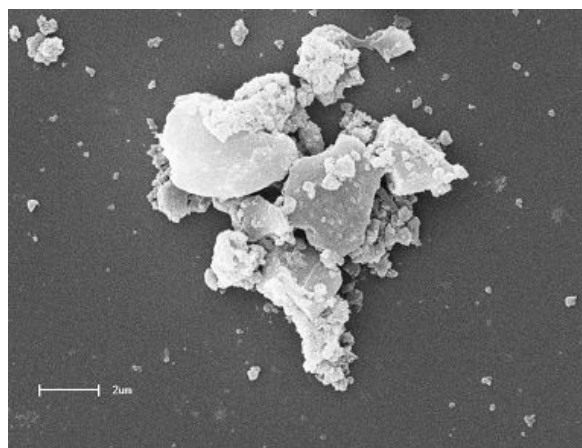


Figura 2: pó de carbeto de boro com aumento de 5000x

A Figura 1 apresenta a morfologia do pó de aço inoxidável AISI 316L, como recebido pelo fabricante onde se observa uma morfologia irregular e aglomerada e presença de partículas esféricas. A Figura 2 apresenta a morfologia do carbeto de boro com partículas irregulares menores aglomeradas em grãos maiores.

As Figuras 3 e 4 apresentam os difratogramas de pó de aço inoxidável AISI 316L e pó de carbeto de boro.

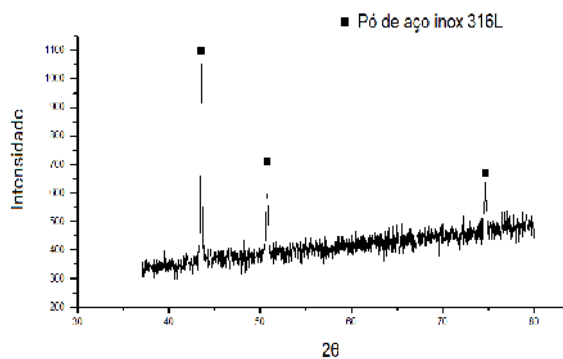


Figura 3. Difratograma do pó de AISI 316L

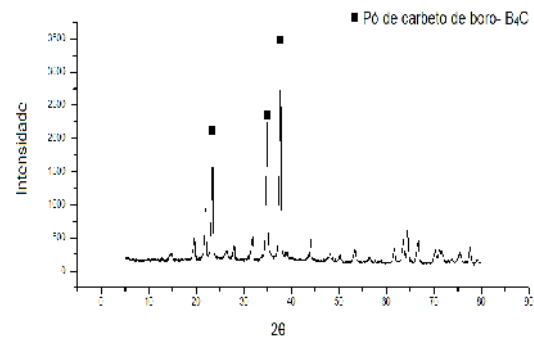


Figura 4: Difratograma do pó de carbeto de boro

A Figura 3 apresenta a análise de DRX do pó de aço inoxidável AISI 316L com os picos característicos de aço austenítico conforme ficha cristalográfica JCPDS 33-0397 (ICDD, 2004). A Figura 4 exhibe o difratograma do pó de carbeto de boro com seus picos de intensidade máxima de difração em 2Theta (23,49; 34,91 e 37,80) semelhante ao disponível na ficha cristalográfica do carbeto de boro JCPDS6-0555 (ICDD, 2004).

A Figura 5 e Figura 6 apresentam a microestrutura das amostras de aço inoxidável 316L reforçado com 3% em peso de carbeto de boro durante isotermas de 15 e 60 minutos respectivamente.

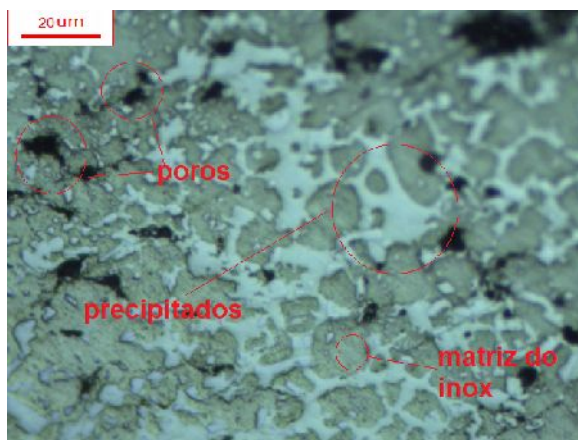


Figura 5: Amostra 316L+B₄C sinterizada por 15 minutos em micro-ondas



Figura 6: Amostra 316L+B₄C sinterizada por 60 minutos em micro-ondas

Podemos notar que na Figura 5 para a amostra A1 sinterizada pelo tempo de 15 minutos ocorreu uma grande formação de precipitados na matriz do aço inox oriundos da reação com o carbeto de boro, exibindo também uma baixa porosidade. Já a amostra A2 sinterizada por 60 minutos (Figura 6) exibiu uma alta porosidade e formação de precipitados em tamanhos menores, e apesar do tempo de permanência maior no forno, a mesma exibiu uma menor densificação.

A Tabela 3 apresenta os valores de microdureza vickers HV para as duas amostras. Segundo ASTM (2004) a dureza máxima do aço inoxidável AISI 316L é 220HV.

Tabela 3- Resultado da microdureza dos sinterizados em forno micro-ondas

Amostra (316L+ 3% B ₄ C)	Tempo (min)	Isoterma (°C)	Microdureza Vickers HV _{0,3}	
			Matriz do Inox	Precipitados
A1	15	1100	197±18	598±52
A2	60	1100	137±17	196,2±87

Podemos notar pelos resultados de dureza dos sinterizados a relação decorrente da formação dos precipitados oriundos da reação com o carbeto de boro, onde a amostra A1 apresentou resultados superiores aos apresentados pela amostra A2 que apresentou tamanho de precipitados menores e elevada porosidade decorrente de uma menor densificação.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados observados, podemos inferir a viabilidade no uso da energia de micro-ondas para sinterização do aço inoxidável AISI 316L reforçado com partículas dispersas de B₄C, onde se verificou:

- ❑ Uma formação de precipitados em maior volume na amostra A1 sinterizada por 15 minutos com uma maior densificação;
- ❑ Na amostra A2 sinterizada por 60 minutos apresentou uma elevada porosidade e precipitados em tamanhos menores;
- ❑ A amostra A1 apresentou uma microdureza média de 598 HV em cima do precipitado e 197 na matriz do aço;
- ❑ Já a amostra A2 apresentou uma microdureza média de 196,2 em cima dos precipitados e na matriz de inox uma dureza de 137HV;

Com isso conclui-se que o uso em tempos menores conduziram em resultados superiores de dureza com microestrutura mais homogênea com uma maior densificação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, D. Microwave sintering of metal powders. **Woodhead Publishing Limited, Pennsylvania State University, USA**, 362-490, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A 240/A 240M-99 . V.01 e V02. **ASTM International**: West Conshohocken, PA, 2004.

ANGELO, P.C. SUBRAMANIAN, R. **Powder Metallurgy: science, technology and applications**. New Delhi, India. 2009. 300p.

CHILLAR. P. AGRAWAL, D. ADAIR, J.H. **Powder Metallurgy**. Sintering of molybdenum metal powder using microwave energy. v.51 n.2, Pag.182-187, 2008.

CHIAVERINI, V. **Metalurgia do Pó -Técnicas e produtos**. 3º Edição. São Paulo. 1992.

ICDD- **International Centre for Diffraction Data**. JCPDS - ICDD PDF-2. 2004.

THÜMLER, F. and OBERACKER, R., **Introduction to Powder Metallurgy**. Ed. University Press, Cambridge, London, 1993.