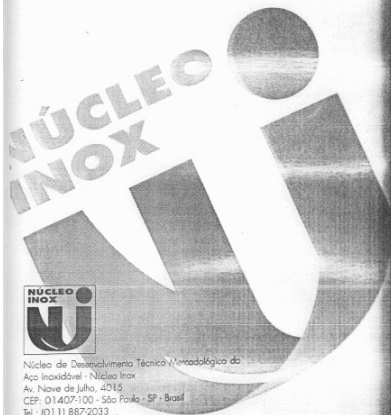


Seminário



Núcleo de Desenvolvimento Técnico/Marketing do
Aço Inoxidável - Núcleo Inox
Av. Nove de Julho, 4015
CEP: 01407-100 - São Paulo - SP - Brasil
Tel.: (011) 887-2033
Fax: (011) 885-8124



INOX'94

**IV Seminário Brasileiro
do Aço Inoxidável**

**23 a 25 de novembro de 1994
São Paulo**

DEFORMAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL SINTERIZADO - AISI 316L

João Luiz Diniz Guimarães - Tecnólogo Mecânico, aluno de Pós-Graduação da Unicamp, Analista de Qualidade da Meta Produtos Sinterizados Ltda.

Paulo Roberto Mes - Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica de UNICAMP.

RESUMO

Este trabalho procura demonstrar outras possibilidades no uso do aço inoxidável austenítico sinterizado - tipo, além das normalmente conhecidas (como utilização na indústria automobilística, laser) com características que superem as obtidas pelo processo convencional de compactação/sinterização.

Nos produtos mais comuns obtidos pelo processo de Metalurgia do Pó, utiliza-se ferro (ou carbono) e bronze. Normalmente para esses materiais tem-se uma operação posterior à sinterização, chamada calibração (ou recompactação), visando obter-se maior dureza/densidade e adequar as dimensões das peças.

Visando obter parâmetros para a execução dessa operação posterior à sinterização para as peças de aço inoxidável sinterizadas, utilizamos o ensaio de laminação.

Como comparativo às amostras de aço inoxidável sinterizadas, utilizamos amostras de aço inoxidável fundido.

INTRODUÇÃO

Por diversas razões, tais como facilidade de execução de peças com geometria complexa, pouca perda de material, entre outras, o segmento dos aços inoxidáveis vem tornando-se um dos mais importantes e crescentes na área da Metalurgia do pó.

Nas dias atuais, todos os póis de aço inoxidável para utilização em metalurgia do pó são obtidos através de atomização em água, formando normalmente partículas com formas irregulares.

A tabela 1(2) apresenta as características do pó de aço inoxidável austenítico 316L utilizado para confecção das pastilhas com as quais realizamos os ensaios deste trabalho :

CARACTERÍSTICAS DE PÓS COMERCIAIS DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO 316L											
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% PM PPM)					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
Cy	Ni	Si	Mn	C	S	P	Fe	Alumina +100 (%)	Porosidade aberta (%)	Porosidade total (%)	
16 X 17,1	10-14	0,7-0,9	0-2,5	0,1	0,03	0,03	0,03	1-4	15-45	2,5-5,0	74-78

Tabela 1 : Características de pós comerciais de aço inoxidável austenítico 316L.

A escolha do lubrificante(3) é de vital importância para a obtenção de boas compactações, pois o pó de aço inoxidável é altamente ligado - fato este que torna mais difícil sua compressão, se compararmos com a do pó de ferro.

Normalmente, os pós de aço inoxidável já vêm com lubrificante do fornecedor, dispensando a operação de mistura antes da entrada em produção, e na maioria dos casos, o lubrificante utilizado é o tetrato de lítio.

Comparativamente ao pó de ferro, as cargas de compactação também são maiores para o aço inoxidável, o que nos leva a obter grandes aumentos nessa carga de compressão, para pequenas alterações de densidade nas peças.

Após a compactação das peças, deve-se ter extremo cuidado na remoção deste lubrificante antes da sinterização, pois a presença deste durante a sinterização aumenta os níveis de carbono nas mesmas, o que afetaria a resistência à corrosão e a oxidação.

De maneira geral, esse lubrificante é queimado em fornos separados (com hidrogênio ou ar) a temperatura em torno de 500°C.

As atmosferas mais empregadas para sinterização de aços inoxidáveis são a atmosfera hidrogênio ou vácuo. As temperaturas de sinterização mais empregadas variam de 1100º a 1300ºC, e em alguns casos pode chegar até a 1350ºC (4).

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Foram produzidas amostras (pastilhas) de aço inoxidável 316L com pó de características já descritas, obtendo-se densidade limite de peça compactada de 6,9 g/cm³.

Como utilizamos atmosfera redutora para sinterizar as amostras (atmosfera hidrogênio), a densidade obtida após sinterização foi de 7,1 g/cm³, com dureza superficial da ordem de 74 / 76 (HRB).

A tabela 2 mostra o estado inicial das amostras :

amostra	altura (mm)	densidade (g/cm ³)	dureza (HRB)
1	4,51	7,10	75
2	4,54	7,10	75
3	4,50	7,10	74
4	4,49	7,10	76
5	4,50	7,10	76
6	4,54	7,10	74
7	4,50	7,10	75

Tabela 2 : Tamanho, densidade e dureza das pastilhas sinterizadas utilizadas neste trabalho, antes da laminação.

As pastilhas de aço inoxidável 316L foram laminadas a frio em laminador de rolos, com redução em altura por passe nunca superior a 25%, tomando-se o cuidado de manter os rolos sempre bem lubrificadas.

A figura 3 mostra a região de medida de dureza e micrografia das amostras :



Tabela 3 : Indicação da região das amostras utilizadas para medição de dureza e micrografia.

A tabela 4 mostra as condições das amostras após laminação :

amostra	altura (mm)	densidade/altura (g/cm ³)	corpo utilizado (ton)	% defor/ mação total (%)	No. passes
1	3,80	7,30	92 HRB	5,6	14
2	3,70	7,35	95 HRB	5,7	18
3	3,46	7,50	71 HRE	5,9	75
4	3,43	7,50	72 HRE	4,9	75
5	3,25	7,55	78 HRE	7,9	78
6	3,07	7,70	10 HRE	16,5	37
7	2,34	7,80	37 HRE	24,6	48

Tabela 4 : Tamanho, densidade e dureza das pastilhas utilizadas neste trabalho, após laminação com passe único ou múltiplos passes.

$$\% \text{ def. total} = \left(\frac{\text{alt. amostra antes lam.} - \text{alt. amostra após lam.}}{\text{alt. amostra antes lam.}} \right) \times 100$$

A tabela 5 mostra as condições (antes e após laminação), da amostra de aço inox fundido utilizada como parâmetro para os testes com o aço inox sinterizado :

amostra	altura inicial (mm)	altura final (mm)	densidade inicial (g/cm ³)	densidade final (g/cm ³)	deformação obtida (%)	corpo utilizado (ton)
aço inox fundido	7,70	9,1	7,90	5,81	35	7,9

Tabela 5 : Tamanho, densidade e dureza das amostras de aço inox 316L fundido - antes e após laminação.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A figura 6 mostra a variação da densidade das amostras sinterizadas em função da deformação aplicada na laminação :

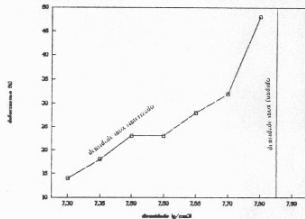


Figura 6 : Variação da densidade das pastilhas em função da deformação aplicada na laminação.

A figura 7 mostra a variação de dureza das amostras sinterizadas em função da deformação aplicada na laminação :

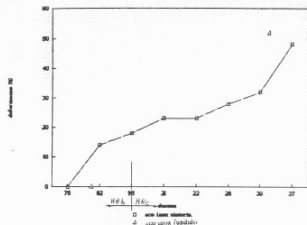


Figura 7 : Variação da dureza das amostras sinterizadas em função da deformação aplicada na laminação.

Na figura 6 observa-se que a densidade das amostras cresce com a deformação aplicada na laminação, chegando a 90% da densidade do aço fundido com uma deformação de 40% (redução na altura durante a laminação).

Também a dureza aumenta rapidamente com a deformação aplicada, devido à maior compactação do material (aumento de sua densidade - figura 5) e também ao encruamento provocado pelo trabalho mecânico aplicado a frio (com 14% de deformação é ultrapassada a dureza do aço inoxidável fundido no estado reduzido, que é de 92 HRB).

A figura 8 mostra a microestrutura de uma amostra somente sinterizada, densidade 7,1 g/cm³ e dureza de 75 HRB.

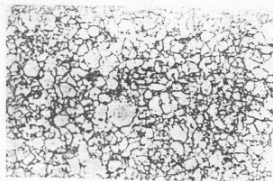


Figura 8 : Amostra sinterizada antes da laminação.
Ataque : eletrolítico em ácido oxálico.
Aumento : 250X.

A figura 9 mostra a microestrutura de uma amostra com deformação de 23% ; densidade 7,5 g/cm³ e dureza de 23 HRB ;

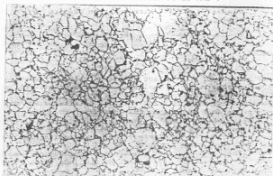


Figura 9 : Amostra sinterizada após laminação com 23% de redução de altura.
Ataque : eletrolítico em ácido oxálico.
Aumento : 250X.

A Figura 10 mostra a microestrutura de uma amostra com deformação de 32% , densidade 7,7 g/cm³ e dureza de 32 HRC :

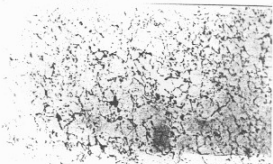


Figura 10 : Amostra sinterizada após laminação com 32% de redução em altura.
Ataque : eletrolítico em ácido oxálico.
Aumento : 200X

CONCLUSÕES

- 1) O aço inoxidável sinterizado 316L (austenítico) suportou até 48% de deformação total em laminação (redução de altura), acima desse valor as amostras se romperam.
- 2) Deformações superiores a 24% (redução em altura) por passe também provocaram o rompimento das amostras.
- 3) As durezas foram consideravelmente aumentadas com a elevação da deformação, sem que tenha grandes alterações na estrutura do material (o tamanho de grão aumentou-se quase inalterado para as diferentes cargas de laminação).
- 4) Houve também um apreciável aumento na densidade das amostras, atingindo-se valores bem próximos ao do aço inox fundido (7,8) da densidade para deformação de 60%.

Todos os resultados acima demonstram que, se for necessário, o aço inoxidável sinterizado 316L pode sofrer deformação posteriormente à sinterização, podendo atingir maior dureza e densidade, próprias do material fundido.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Metals Handbook, Vol.7 - Alomiation, 9a. Ed.,ASM International, 1988, p. 25.
- (2) Metals Handbook, Vol.7 - Production of Stainless Steel, 9a. Ed., ASM International, 1988, p. 149.
- (3) Metals Handbook, Vol.7 - Lubrification of Metal Powders, 9a. Ed., ASM International, 1988, p. 198.
- (4) Metals Handbook, Vol.7 - Production Sintering Practices for P/M Materials, 9a. Ed.,ASM International, 1988, p. 68.

AGRADECIMENTOS

A direção da REPS PRODUTOS SINTERIZADOS LTDA., na pessoa do Sr. Moisés B.R. Cunha, pelo incentivo à realização deste trabalho; ao Sr. Veldir Deigado, da METALAC S.A. IND. E COM., pelo auxílio na realização dos ensaios metalográficos e aos funcionários dos laboratórios de deformação e caracterização física da UNICAMP.