

PROPRIEDADES DO AÇO ABNT 8620 SINTERIZADO APÓS MOLDAGEM DE PÓS METÁLICOS POR INJEÇÃO (MPI)¹

Diego Pacheco Wermuth²

André Carvalho Tavares³

Vinícius Martins⁴

Paulo Mariot⁵

Lírio Schaeffer⁶

Resumo

O aço ABNT 8620 é amplamente utilizado na fabricação de engrenagens, pinos e peças onde há exigência de dureza superficial. Este material tem como características ser um aço para cementação, ter média temperabilidade e resistência mecânica, com boa usinabilidade e soldabilidade. Este artigo tem por objetivo verificar as propriedades do Aço ABNT 8620, após a sinterização em atmosfera de Nitrogênio de corpos de provas obtidos pela metalurgia do pó, através da moldagem de pós metálicos por injeção (MPI), que é uma técnica de processamento de componentes utilizada em diversas aplicações, onde deseja - se alcançar a geometria e dimensionamento preciso no produto final. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios como dureza, metalografia e contração volumétrica para que os resultados obtidos fossem analisados.

Palavras chave: Aço ABNT 8620; Moldagem de pós metálicos por injeção; Ensaios mecânicos.

PROPERTIES OF STEEL ABNT 8620 SINTERED AFTER POWDER INJECTION MOLDING (MPI)

Abstract

The ABNT 8620 is widely used in the manufacture of gears, pins and parts where there is demand for surface hardness. This material has the characteristics to be carburizing steel, have medium hardenability and mechanical strength, good machinability and weldability. This article aims to determine the properties of the steel ABNT 8620, after sintering in nitrogen atmosphere body of evidence obtained by powder metallurgy by molding Metal Powders for Injection (MPI), which is a technique of processing components used in many applications where you want achieve accurate geometry of the final product. The specimens were subjected to tests such as hardness, metallography and shrinkage for the results obtained were analyzed.

Keywords: ABNT 8620 STEEL; Metal powders for injection; Mechanical tests.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. diegopw@bol.com.br

³ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. Andre.tavares@ufrgs.br

⁴ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Professor do Instituto Federal Sul Rio-grandense IFSul – Campus Sapucaia do Sul, RS, Brasil. viniushiper@yahoo.com.br

⁵ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. paulo.mariot@ufrgs.br

⁶ Doutor em Conformação Mecânica. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. schaeffer@ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

A evolução progressiva do processo de moldagem por injeção iniciou em 1920, que até aquele momento era restrito para materiais plásticos e passou para pós cerâmicos e metálicos.⁽¹⁾

Atualmente a Moldagem de Pós Metálicos por Injeção (MPI) está se tornando um processo muito atrativo, pois se consegue propriedades inerentes aos materiais metálicos em produtos com versatilidade e precisão, com maior produtividade do que no processo de usinagem de metais.

A Moldagem de Pós por Injeção é uma técnica de processamento de componentes utilizada em diversas aplicações, onde a geometria e o tamanho do produto final fazem com que esse processo seja mais econômico quando comparado com outros processos de fabricação como a fundição e a usinagem.⁽²⁾

Esse processo combina uma pequena quantidade de polímeros com um pó inorgânico para formar a carga injetável, para poder ser moldado. Após a moldagem, o aglutinante polimérico e o aditivo são extraídos e o pó cerâmico ou pó metálico é sinterizado.⁽³⁾

A moldagem de pós metálicos a partir da injeção vem se destacando no cenário mundial pela possibilidade de obtenção de paredes finas e alta complexidade. Para este tipo de aplicação, é necessário obter-se uma mistura com um alto teor de pós metálicos. Estudos anteriores demonstram a eficiência da utilização deste tipo de tecnologia para obtenção de paredes ultrafinas.⁽⁴⁾

A matéria prima formada deve apresentar alta missividade entre o ligante e o pó metálico, para isso é necessário adequar a quantidade de surfactante adicionada a mistura.⁽⁵⁾

O material é injetado em um molde com dimensões dando forma final do plastificado, solidificando o mesmo ganhando resistência. Após a peça injetada é extraída do molde ganhando o nome de peça a verde, que é levada para uma extração química, onde parte do ligante é retirada, em seguida a mesma é levada para um forno sendo aquecida para retirada do ligante restante e recebe o nome de peça marrom, que é levada novamente ao forno para ser sintetizada ganhando a densidade final e suas características (6). A Figura 1 apresenta esse fluxo produtivo.

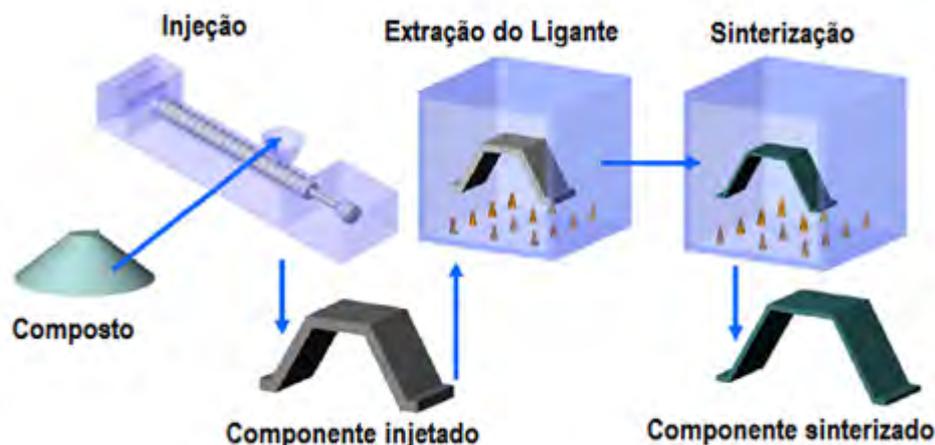


Figura 1. Esquema do processo de injeção de pós metálicos.⁽⁷⁾

A sinterização pode ser definida como um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de determinado material comprimidas entre si, adquira resistência mecânica. Sua força motora é o decréscimo da energia superficial livre do conjunto de partículas, conseguido pela diminuição da superfície total do sistema. Em muitas ocasiões, isto traz como consequência à eliminação do espaço vazio existente entre as partículas, resultando em um corpo rígido e completo ou parcialmente denso. A sinterização é utilizada para se fabricar peças metálicas, cerâmicas e compósitos metal-cerâmicos, sendo parte integrante e a principal de técnicas térmica do processo denominado de metalurgia do pó, que se incumbem justamente da fabricação de produtos metálicos e cerâmicos a partir dos pós dos constituintes.⁽⁸⁾

Basicamente a sinterização consiste no aquecimento das peças a temperaturas específicas, sempre abaixo do ponto de fusão do metal base da mistura, eventualmente acima do ponto de fusão do metal secundário da mistura, em condições controladas de velocidade de aquecimento, tempo e temperatura, velocidade de resfriamento e atmosfera do ambiente de aquecimento.

A temperatura ideal de sinterização é da ordem de 2/3 a 3/4 da temperatura de fusão da liga considerada. Basicamente a sinterização é um processo de estado sólido ocorrendo ligação química, no sentido de eliminar ou diminuir a porosidade existente no compactado verde; formando um corpo coerente provido das propriedades físicas primárias do sinterizado.⁽⁹⁾ A sinterização é comumente processada em fornos contínuos ou semicontínuos, caracterizado pelas suas três zonas de operação: pré-aquecimento, manutenção térmica e resfriamento.

O aço ABNT 8620 é amplamente utilizado na fabricação de engrenagens, pinos e peças onde há exigência de dureza superficial, obtida pelo processo de cementação ou carbonitreção.⁽¹⁰⁾ Empregado na construção de mecanismos onde a resistência ao desgaste é propriedade mais importante.⁽¹¹⁾

Tem como características ser um aço para cementação, ter média temperabilidade, com boa usinabilidade, boa soldabilidade e média resistência mecânica. A dureza superficial, na condição cementada e temperada, pode alcançar 62 HRc, enquanto que a dureza de núcleo varia entre 30 e 45 HRc.⁽¹⁰⁾

A composição química essencial após sinterização do aço corresponde a 0,12 – 0,23% de carbono, 0,40 – 0,60 % de cromo, 0,15 – 0,25% de Molibdênio, 0,40 – 0,70% de níquel e ferro em balanço.⁽¹²⁾

O aço ABNT 8620 chega a seu recozimento entre 860°C á 880°C, e sua normalização está entre 900°C á 930°C, bem como a cementação está entre 900°C á 930°C (09). Os meios para têmpera direta para o aço 8620 pode ser realizada por óleo ou banho de sal. Sua aplicação é para peças cementadas com 80 a 110 Kgf/mm² no núcleo. É indicado em grupos de peças para construção mecânica.⁽¹³⁾

Os ensaios mecânicos são de suma importância para o conhecimento do comportamento do material empregado em determinado projeto, isto é, suas propriedades mecânicas, em diversas condições de uso, que envolvem uma gama de variáveis, tais como a temperatura, tipo de carga aplicada e sua frequência de aplicação, desgaste, deformabilidade, atmosfera corrosiva, entre outros.⁽¹⁴⁾

O método dureza Rockwell foi desenvolvido em 1922 por Stanley P. Rockwell e permite avaliar a dureza de metais desde os mais moles até os mais duros. Entretanto, o ensaio também mostra limitações como por exemplo a não continuidade de suas escalas. Por isso, materiais que apresentam dureza no limite

de uma escala e no início de outra não podem ser comparados entre si quanto à dureza. Outra limitação importante é que o resultado de dureza no ensaio Rockwell não tem relação com o valor de resistência à tração. O que indica que o ensaio de dureza Rockwell está longe de ser a solução técnica ideal.⁽¹⁴⁾

O ensaio Rockwell é, hoje, o processo mais utilizado no mundo inteiro, devido à rapidez, à facilidade de execução, facilidade em detectar pequenas diferenças de durezas e pequeno tamanho da impressão.⁽¹⁵⁾ Nesse método, a carga do ensaio é aplicada em etapas, ou seja, primeiro se aplica uma pré-carga, para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado, e depois se aplica a carga do ensaio propriamente dito.⁽¹⁶⁾

O estudo da metalografia tem por objetivo analisar os constituintes e as estruturas dos metais com suas ligas. É de vital importância o conhecimento da composição microestrutural de um material, pois permite o controle da qualidade e suas propriedades mecânicas. Através da observação no microscópio ou em outros equipamento, observam-se características como: o tamanho do grão, a dimensão e distribuição de grafitas, os níveis de inclusão, o dimensionamento de profundidade de tratamentos, o dimensionamento de descarbonetação superficial, além da classificação de estruturas cristalinas.⁽¹⁷⁾

O preparo das amostras é sem sombra de dúvida a etapa mais importante do processo, pois técnicas incorretas de preparação pode levar a alteração nos resultados da microestrutura e conseqüentemente a conclusões erradas. Os procedimentos para fazer a metalografia são o embutimento da amostra, o lixamento, sendo refrigerado à água, para evitar aquecimento e ao término a amostra deve estar livre de riscos, manchas e imperfeições que possam alterar os resultados, além de revelar evidências de trincas e fissura, juntamente com o polimento e o ataque químico para destacar e identificar as características microestruturais ou fases presentes nas amostras.⁽¹⁷⁾

Neste artigo será utilizada uma carga injetável pronta do aço ABNT 8620 que possui grande influência na indústria, devido ao seu baixo custo e por participar de uma série de aços para cementação que possuem boa temperabilidade, garantindo bons valores de ductilidade em seu núcleo. Após a injeção e sinterização do aço ABNT 8620 em atmosfera de controle de Nitrogênio, os corpos de prova serão submetidos a ensaios de dureza, metalografia e contração volumétrica. Estes ensaios visam caracterizar as propriedades deste material para fins de consulta para realização de projetos de mecanismos onde estes dados sejam relevantes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As composições do aço ABNT 8620 são apresentados na Tabela 1, sendo a primeira parte da tabela a composição obtida por metalurgia convencional, através de conversores e passando pela aciaria. A segunda parte da tabela mostra a composição típica do ABNT 8620 obtido por mistura de pós elementares e atomizados na liga desejada eliminando possíveis impurezas.

Tabela 1. Composição típica do aço ABNT 8620 em % de massa

Obtido através da metalurgia convencional									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
Min	0,12	0,15	0,70	--	0,020	0,40	0,40	0,15	0,025
Max	0,23	0,35	0,90	0,030	0,035	0,60	0,70	0,25	0,040

Obtido através da metalurgia do pó									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
Min	0,12	--	--	--	--	0,40	0,40	0,15	--
Max	0,23	--	--	--	--	0,60	0,70	0,25	--

As amostras foram injetadas com cargas vendidas comercialmente pela Basf, descritas por Catamold 8620, em uma injetora Arburg Allrounder 170 S 125-30. As amostras verdes, obtidas pela injeção foram então encaminhadas para a medição de volume, através do princípio de Arquimedes.

Após a medição do volume as peças foram encaminhadas ao processo de sinterização, onde primeiramente foram expostas a extração catalítica pelo ácido oxálico. Após a extração química as amostras marrons foram sinterizadas no forno ELNIK 3009 com atmosfera de Nitrogênio, com uma taxa de aquecimento de 6°C/min. até a temperatura 600°C, onde se manteve a temperatura por uma hora com o intuito de retirar possíveis vestígios do binder que possa não ter sido extraído cataliticamente. Após o patamar térmico para extração continuou-se a aquecer as amostras com uma rampa de aquecimento de 7°C/min. até que a temperatura do forno atingisse 1260°C, mantendo-a durante uma hora para realização da sinterização e em seguida desligou-se as resistências para que fosse feito o resfriamento até a temperatura ambiente das amostras.

Ao término da sinterização as peças foram submetidas novamente a medição do seu volume para constatar-se a contração volumétrica em relação à peça verde. Após a medição da contração volumétrica, foram realizados os ensaios metalográficos para a análise microestrutural no microscópio OLYMPUS GX51. Em seguida realizou-se o ensaio de Dureza Rockwell B nas amostras utilizando o equipamento Fortel MRS(EXP). O método usual de avaliar a dispersão dos resultados é a determinação do desvio padrão experimental para um conjunto de n medições. Este avaliação utiliza a equação 1 para efetuar o cálculo necessário.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Equação (1)

S= Desvio padrão experimental

n- número de medições

x_i = resultado da "iésima" medição

\bar{x} = média aritmética dos "n" resultados considerados

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A microestrutura predominante obtida nas amostras esta demonstrada na Figura 2, a que apresenta a microestrutura do aço SAE 8620 com 55% de ferrita e tamanho médio de grão de ferrita igual a 50 μ m.

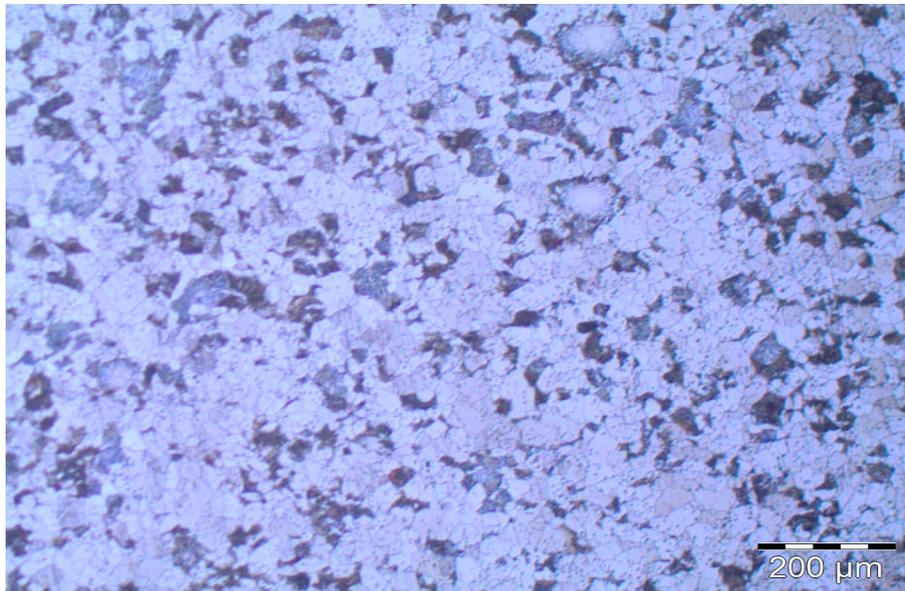


Figura 2.– Microestrutura obtida do aço ABNT 8620 sinterizado após MPI.

A Figura 3 mostra a presença de uma inclusão de poros intergranular com tamanho médio de 10 μ m.

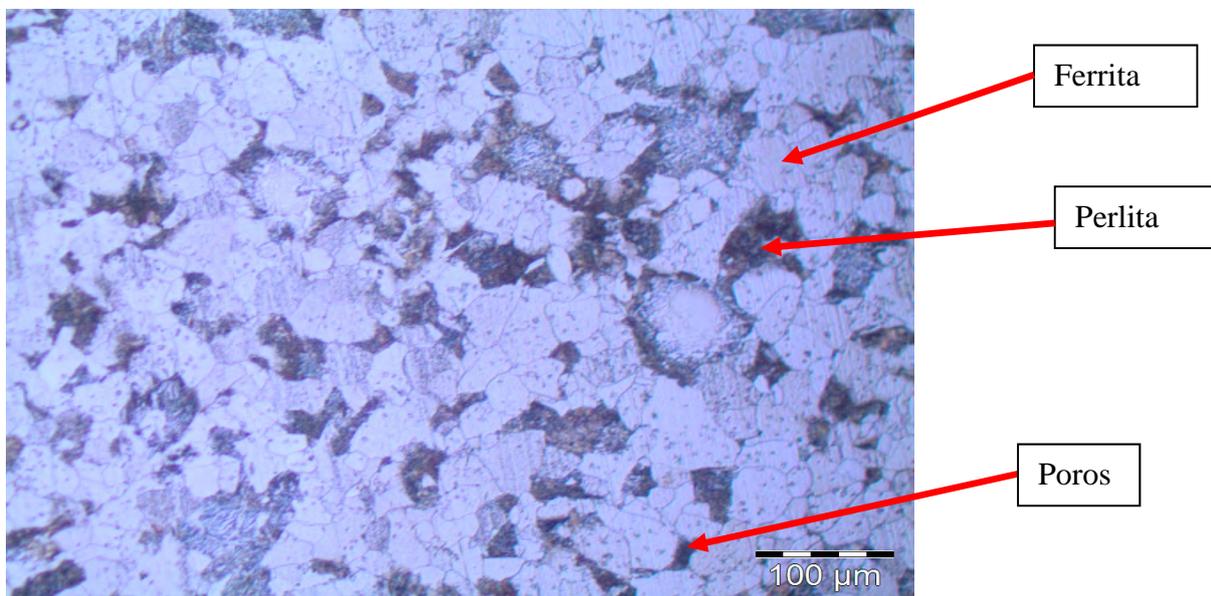


Figura 3. Microestrutura obtida do aço ABNT 8620 sinterizado após MPI.

Os resultados obtidos pelos ensaios de dureza na análise dos corpos de prova foram muito próximos, sem variações significativas, sendo o valor médio obtido de 66 HRb na peça, com variações de ± 2 HRb. O ensaio de contração volumétrica demonstrou uma constância em relação a contração das peças após a

sinterização, podendo-se concluir que é possível ter o controle centesimal das peças após a sinterização. O resultado médio obtido no teste foi de 43,6 % de contração volumétrica, como pode ser visto pela Figura 3.



Figura 3. Peça verde e peça sinterizada de ABNT 8620.

As variações de contração das amostras foram de +0,53% e -0,71%, correspondendo estes valores a respectivamente a 0,069 e 0,092 milímetros de contração linear. Foi mensurado densidade e o percentual de densificação que é exibido na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas do aço ABNT 8620

Amostra	MASSA (g)	VOLUME (cm ³)	DENSIDADE (g/cm ³)	DENSIFICAÇÃO (%)
1	16,30	2,17	7,51	96,30
2	16,50	2,19	7,53	96,59
3	16,32	2,18	7,48	95,98
4	16,16	2,16	7,48	95,92
5	16,29	2,19	7,43	95,36
6	16,42	2,19	7,49	96,12
7	16,30	2,21	7,37	94,56
8	16,29	2,21	7,37	94,50
9	16,39	2,19	7,48	95,95
10	16,11	2,16	7,45	95,62
11	16,42	2,20	7,46	95,69
12	16,32	2,17	7,52	96,42
13	16,49	2,19	7,52	96,53
14	16,54	2,21	7,48	95,95
15	16,47	2,20	7,48	95,98
16	16,32	2,17	7,52	96,42
17	16,33	2,17	7,52	96,48
18	16,49	2,20	7,49	96,10
19	16,51	2,20	7,50	96,21
20	16,50	2,19	7,53	96,59
21	16,31	2,18	7,48	95,92
22	16,27	2,16	7,53	96,57
23	16,48	2,19	7,52	96,48
24	16,30	2,17	7,51	96,30
25	16,50	2,19	7,53	96,59
26	16,53	2,20	7,51	96,33

Amostra	MASSA (g)	VOLUME (cm ³)	DENSIDADE (g/cm ³)	DENSIFICAÇÃO (%)
27	16,49	2,20	7,49	96,10
28	16,29	2,19	7,43	95,36
29	16,49	2,19	7,52	96,53
30	16,31	2,17	7,51	96,36
31	16,47	2,18	7,55	96,86
32	16,27	2,17	7,49	96,12
33	16,51	2,19	7,53	96,65
Média	16,38	2,19	7,50	96,10
Desvio	-0,27 + 0,15	± 0,02	+ 0,03 – 0,13	+ 0,76 -1,60

Observa-se que a densidade média foi de 7,50 g/cm³ levemente superior a literatura que indica o valor de 7,40 g/cm³, indicando que a curva de sinterização, a atmosfera e o forno de sinterização estão adequados, obtendo ótimo resultado. O valor de densidade variou de 7,37 a 7,53 g/cm³. O resultado de densificação foram satisfatórios alcançando os valores de 94,5 a 96,86 com a média de 96,1%.

5 CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados conclui-se que o processo de Moldagem de Pós Metálicos por injeção, utilizando o material fornecido pela Basf, descrito por Catamolde 8620, é muito eficaz na obtenção de peças que exigem baixa porosidade, boa dureza superficial e precisão dimensional. Pode-se afirmar que o processo MPI possui uma grande repetibilidade sendo muito precisa, tornando possível substituir outros processos cuja fabricação dos certos componentes é mais complexa e demorada. Esse processo seria muito vantajoso na produção de um volume grande de peças idênticas e de complexidade geométrica, sendo o custo muito mais baixo do que na fabricação destas mesmas peças no processo de usinagem, por exemplo. A densidade média foi de 7,50 g/cm³ maior que o valor indicado na literatura. O valor de densidade variou de 7,37 a 7,53 g/cm³. O resultado de densificação foi satisfatório alcançando os valores de 94,5 a 96,86 com a média de 96,1%. A metalografia apresentou 55% de ferrita, juntamente com perlita e poros. A contração volumétrica foi de 43,6 %. As amostras obtiveram o valor médio de 66 HRb na peça, com variações de ± 2 HRb.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, principalmente ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) pela disponibilização dos recursos materiais e tecnológicos. Aos órgãos CAPES, CNPq e FAPERGS pelo apoio ao projeto e investimento na área da pesquisa. A estagiária do Centro Tecnológico da UFRGS, Ruth Agustini, pela ajuda nos ensaios de metalografia e contração volumétrica.

REFERÊNCIAS

- 1 American Society for Metals – Metals Handbook, v.7, Powder Metallurgy, 1984.
- 2 BONALDI, P. O. Estudo, fabricação e caracterização de pinças de biópsia para endoscopia flexível através do processo de moldagem de pós por injeção. Dissertação apresentada a UFRGS, Porto Alegre, 2008.
- 3 GERMAN, R.M; BOSE, A. Injection molding of metals and ceramics. 1 ed., Metal Powder industries Federation, Princeton, NJ, 1997.
- 4 JUNHU MENGA, NGIAP HIANG LOH, GANG FUA, SHU BENG TORA, BEE YEN TAY. Replication and characterization of 316L stainless steel micro-mixer by micro powder injection molding, Journal of Alloys and Compounds 496 (2010) 293–299
- 5 SHUBIN REN, XINBO HE, XUANHUI QU, ISLAM S. HUMAIL, AND YANPING WEI. Influence of binder composition on the rheological behavior of injection-molded micro-sized SiC suspensions. Journal of University of Science and Technology Beijing Volume 15, Number 3, June 2008, Page 297
- 6 N.H. LOH, S.B. TOR, K.A. KHOR. Production of metal matrix composite part by powder injection molding. Journal of Materials Processing Technology 108 (2001) 398-407
- 7 C. QUINARD, T. BARRIERE, J.C. GELIN. Development and property identification of 316L stainless steel feedstock for PIM and μ PIM. Powder Technology v. 190, p. 123–128, 2009.
- 8 SILVA, A.G.P.; ALVES JUNIOR, C. A sinterização rápida: sua aplicação, análise e relação com as técnicas inovadoras de sinterização. Cerâmica, v. 44, n. 290, São Paulo, 1998
- 9 GERMAN, R. M. Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing. Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 2005.
- 10 ASSUNÇÃO, FERNANDO COSME RIZZO. Seleção e Emprego de Aços. 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1987.
- 11 COSTA e SILVA, ANDRÉ LUIZ V. da; P. R. MEI; Aços e Ligas Especiais. Editora Edgard Blücher, 2ª Ed. 2006.
- 12 BASF, The Chemical Company. Disponível em:
<http://worldaccount.basf.com/wa/NAFTA~en_GB/Catalog/ChemicalsNAFTA/doc4/BASF/PRD/30046470/.pdf?title=Product%20Data%20Sheet&asset_type=pds/pdf&language=EN&urn=urn:documentum:eCommerce_sol_EU:09007bb280047695.pdf> Acesso em 18 de Dezembro de 2012.
- 13 ZAPATA, Prof. Eng. Walter Contreras. Tratamentos Térmicos dos Aços. 1. ed. Joinville: Faculdade de Engenharia de Joinville, 1980.GARCIA; SPIM; SANTOS, 2000.
- 14 SOUZA, S. A. Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos. Edgard Blucher LTDA, 3ª ed, 1974.
- 15 SONG, J. F. et al. Microform Calibrations in Surface Metrology. Int J Mach Tools Manufact. v. 35, n. 2, p301 -10, 1995.
- 16 ABNT NBR NM ISO 6508-1:2008
- 17 LEMM, Laboratório de Ensaio Mecânicos e Materiais, 2010. Disponível em:<<http://www.urisan.tche.br/~lemm/metalografia.pdf>>. Acesso em : 01 de Dezembro de 2012.