

ESTUDO COMPARATIVO DO EFEITO DO TEMPO NA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS FERROSOS COMPACTADOS SOB ALTA PRESSÃO

Rodrigues, M. L.¹; Soares, S. R. S.¹; Dias, E. K.¹; Resende, L.¹
marciolr@outlook.com

¹UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso / Engenharia Mecânica
Rodovia Rondonópolis Guiratinga, KM 06 – CEP: 78.735-901
Rondonópolis - MT

RESUMO: A preocupação mundial com a reciclagem de resíduos e sucatas têm levado as indústrias a buscar alternativas para o destino final dos mesmos. A técnica de Alta Pressão ($P > 1,0$ GPa) é uma delas, pois por seu intermédio pode-se produzir, peças de pequeno porte e de grande interesse para aplicações nas indústrias automobilística, ferramentaria e aeroespacial. O uso de altas pressões é uma rota bastante promissora para se compactar tanto materiais frágeis como dúcteis. Através dela se consegue deformar plasticamente esses materiais e promover um contato íntimo e extenso entre suas partículas ou cavacos. Nesse trabalho, foi estudado o efeito do tempo de compactação no comportamento da densidade verde e microdureza de amostras obtidas sob Alta Pressão (2 GPa). Os compactos obtidos com diâmetro de 8 mm e altura de 3 mm serão caracterizados através de microscopia ótica e medidas de densidade verde e microdureza. Os resultados apresentaram amostras com elevada densidade verde e valores de microdureza superiores aqueles obtidos na amostra original (oriunda de processo convencional).

PALAVRAS-CHAVE: Alta Pressão, Tempo de Compactação, Cavacos Ferrosos Endurecidos.

ABSTRACT: *The worldwide concern with waste recycling and scrap industries have led to seek alternatives to the final destination of the same. The technique of high pressure ($P > 1.0$ GPa) is one of them, because through it we can produce small parts and of great interest for applications in automotive, tooling and aerospace industries. The use of high pressure is a promising route to compress both ductile and brittle materials. Through it can plastically deform these materials and promote an intimate and extensive contact between its particles or chips. In this work, the effect of time compression behavior was studied in the green density and hardness of samples obtained under high pressure (2 GPa). The compacts obtained with a diameter of 8 mm and height of 3 mm will be characterized by optical microscopy and measurements of green density and hardness. The results showed samples with high green density and hardness values greater than those obtained in the original sample (deriving from the conventional process).*

KEYWORDS: *Hig Pressure, Time Compression, Chips Hardened Metals*

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos aumentou significativamente o interesse da comunidade científica pela produção de materiais cerâmicos refratários e/ou avançados tais como os carbetos de transição-metálica WC, NbC, TaC e TiB₂. Além de sua elevada dureza eles também apresentam excelentes propriedades em alta temperatura, um alto ponto de fusão, boa resistência ao desgaste, à corrosão e à oxidação. Consequentemente são muito atraentes para o seu uso na produção de ferramentas de corte, abrasivos e em aplicações que exijam alta resistência ao desgaste em alta temperatura (assento de válvulas).

O foco das atividades de pesquisa deste trabalho concentra-se no desenvolvimento de novos materiais compósitos, cujas propriedades mecânicas dependam fortemente de sua microestrutura. O trabalho engloba a produção e caracterização de um compósito a partir de uma matriz metálica ferrosa reforçada com partículas cerâmicas. Para o desenvolvimento desse material de partida, foram misturados 3% de NbC com 97% de cavacos de um aço SAE 1050. A técnica usada para produzir compactos desse compósito foi a Alta Pressão e através dela foi investigado o efeito dos diferentes tempos de compactação no comportamento da densidade verde e valores de microdureza obtidos nas amostras compactadas.

O principal atrativo desse projeto é aliar a reciclagem de cavacos de aço à possibilidade de melhora de suas propriedades mecânicas, através da adição de nanopartículas cerâmicas a sua matriz ferrosa. Esses materiais cerâmicos por apresentarem alta dureza (≈ 2400 HV), elevado ponto de fusão ($\approx 3500^\circ\text{C}$) e elevada resistência ao desgaste, tendem a melhorar significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos compactados sob alta pressão.

Três partes distintas, porém interligadas foram abordadas no desenvolvimento deste trabalho: a) a primeira relacionada ao efeito do tempo de compactação no comportamento da densidade verde, microdureza e microestrutura das amostras compactadas sem adição de nanopartículas cerâmicas; b) a segunda referente ao efeito do tempo de compactação no comportamento da densidade verde, microdureza e microestrutura das amostras compactadas com adição de nanopartículas cerâmicas; c) a terceira associada à comparação entre os resultados obtidos das amostras compactadas com e sem adição de partículas cerâmicas.

METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho foi desenvolvido um sistema de alta pressão reproduzível para a produção dos compactos ferrosos, um procedimento de mistura para se adicionar as nanopartículas cerâmicas aos cavacos ferrosos e um sistema de medição de densidade reproduzível para se realizar medidas dessa propriedade em todos os compactos produzidos sob

alta pressão. O material de partida utilizado foi um aço SAE 1050 fornecido na forma de um tarugo. Ele foi usinado para obtenção dos cavacos e também para a produção de uma amostra cilíndrica, chamada de amostra original, a qual será analisada a seguir. Na Fig. (1) é apresentada a microestrutura dessa amostra, (a) sem ataque e (b) com ataque Nital 2%. Como pode ser visto na Fig. (1a) a microestrutura se apresenta com alguns pontos escuros menores que segundo a literatura para esse tipo de aço, podem ser associados a inclusões do tipo silicatos, sulfetos, óxidos e óxidos globulares (CALLISTER, 2002). Os pontos escuros maiores são impressões de medidas de microdurezas que foram realizadas na superfície do aço de partida. Na Fig. (1b) é apresentado de uma forma panorâmica e representativa as fases constituintes desse aço que ampliadas na Fig. (1c) são identificadas por uma região escura e outra mais clara. De acordo com a literatura a região clara é a ferrita e a escura a perlita (CALLISTER, 2002). A distribuição destas fases apresentadas na Fig. (1b) são coerentes com aquelas típicas de um aço 1050 apresentadas na Fig. (2) (COLPAERT, 1974).

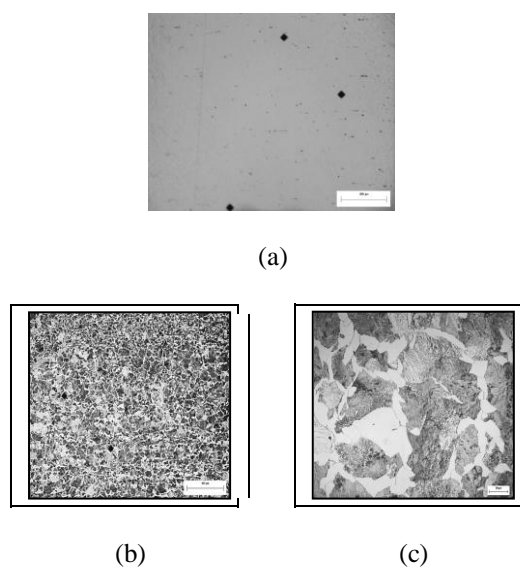


Figura 1 - Microestrutura do material de partida: (a) sem ataque (tamanho da barra = 400 μm); (b) atacado com Nital 2% (tamanho da barra = 400 μm); (c) um detalhe ampliado da região atacada (tamanho da barra = 20 μm)

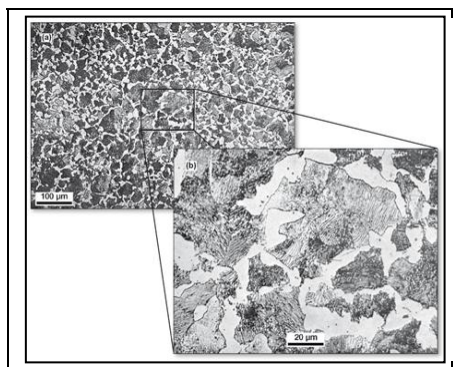


Figura 2 – (a) Aço 0.5 % Cr esfriado lentamente atacado com Nital 2% para revelar as fases perlita e ferrita pró-eutetóide em rede (tamanho da barra = 100 μm); (b) Aumento da região indicada na Figura (a) (tamanho da barra = 20 μm) (COLPAERT, 1974).

Na Fig. (3) é apresentado qualitativamente os típicos cavacos de aço obtidos via usinagem a seco e usados no presente trabalho. Pela análise dessa imagem é possível observar que o tamanho e a morfologia desse material é grosseiro (Fig. 3a) e irregular respectivamente. A sua forma irregular ampliada na Fig. (3b) permite que se identifique a sua constituição como um empilhamento contínuo de lamelas geradas a partir do seu processo de obtenção. A produção do compósito de partida para a sua posterior compactação foi obtida a partir da mistura de uma solução de metanol com 3% de NbC e 97% de cavacos do aço SAE 1050.

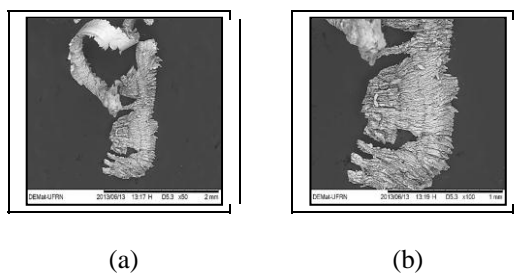


Figura 3 – Típicos tamanho e morfologia dos cavacos usados no presente trabalho $\geq 850 \mu\text{m}$: (a) vista panorâmica e (b) Aparência de lamelas empilhadas (tamanho da barra = 1 mm)

Para a produção de compactos com 8 mm de diâmetro e 3 mm de espessura sob pressão uniaxial de 0,5 GPa e 2 GPa foi utilizado uma máquina de ensaios EMIC 60000DL segundo o seguinte procedimento: a) pré compactação de cavacos ferrosos ($\geq 850 \mu\text{m}$) a 0,5 GPa (Baixa Pressão); b) processamento das amostras pré-compactadas a 2 GPa (Alta Pressão) em diferentes tempos de compactação (aproximadamente zero, uma, seis e doze horas). A caracterização delas de acordo com as suas nomenclaturas apresentadas na Tab. (1), foi realizada através de medidas de densidade de compactação (densidade verde) e microdureza. As medidas de densidade foram feitas via um sistema

dimensional de medição desenvolvido nos laboratórios de engenharia mecânica e de microdureza através de um microdurômetro Digimess HV – 1000.

Tabela 1. Identificação das amostras.

NOMENCLATURA	Onde:
AM20-2-XX SC	AM – Amostra;
AM20-2-XX CC	20 – tamanho do cavaco (mesh);
	2- pressão de 2GPa;
	XX – tempo de compactação;
	SC – sem adição de carbetos;
	CC – com adição de carbetos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Fig.'s (4) e (5) são apresentadas as microestruturas típica das amostras sem e com adição de carbetos compactadas sob a pressão de 2 GPa. Comparando essas figuras com a Fig. (3) nota-se duas modificações microestruturais. A primeira relacionada a direção de deformação. Independente do tempo de compactação usado, os cavacos de partida e agora compactados se apresentam mais alinhados numa direção preferencial de deformação. A segunda relacionada ao tamanho de cavaco. De acordo com a escala da figura (200 μm) observa-se a presença de cavacos deformados iguais e menores do que aquele apresentado na Fig. (3). Esses dois fatos, independente se amostra foi compactada sem ou com a adição de carbetos, é um forte indicativo de que o cavaco de partida durante a sua compactação não somente deformou como também encruou e conseqüentemente fraturou, contribuindo dessa forma para uma melhor acomodação e rearranjo desse material durante a sua compactação.

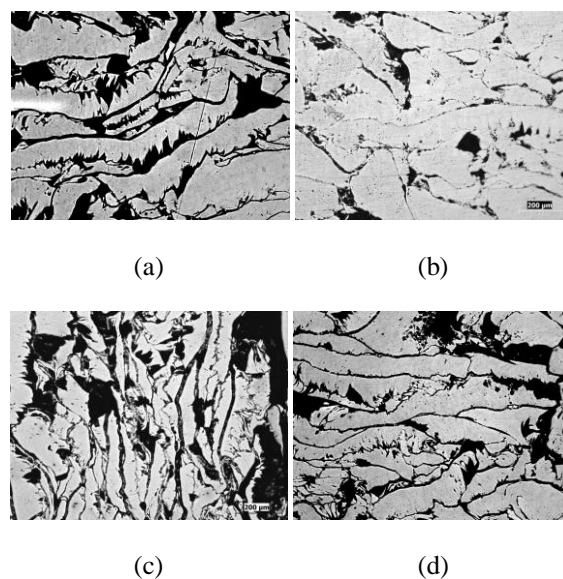


Figura 4 – Microestrutura das amostras compactadas sob 2 GPa e diferentes tempos de compactação sem adição de carbetos: (a) instantânea, (b) 01 hora; (c) 06 horas e (d) 12 horas (tamanho da escala = 200 μm)

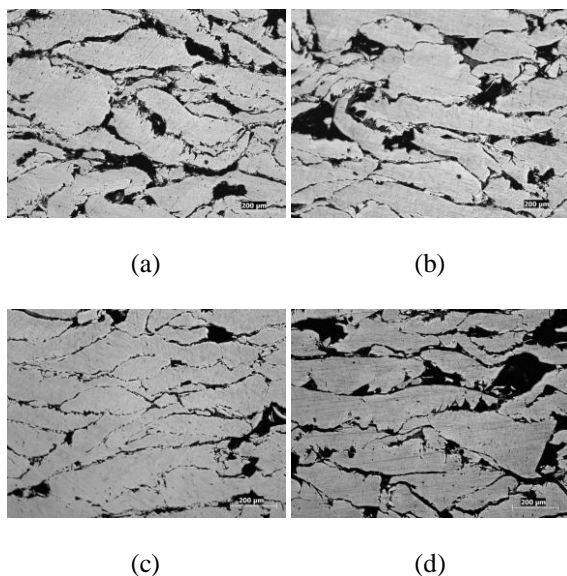


Figura 5 – Microestrutura das amostras compactadas sob 2 GPa e diferentes tempos de compactação com adição de carbeto: (a) instantânea, (b) 01 hora; (c) 06 horas e (d) 12 horas (tamanho da escala = 200 μm)

Nas Tabelas. 2 e 3 são apresentados os valores da densidade e microdureza das amostras sem o reforço do carbeto de nióbio (NbC) produzidas em diferentes tempos de compactação. Independente do tempo usado nota-se que a pressão de 2 GPa gerou valores de densidade nas amostras sem o uso de temperatura maiores do que 90% e característico de corpos de prova que foram sinterizados e encontram-se em estágio intermediário de sinterização. Esses resultados mostraram coerentemente com a literatura (SOARES, 2003) que a alta pressão é uma rota bastante promissora para melhorar as condições de sinterabilidade de materiais, porque, além de promover uma maior compactação do material de partida, uma tensão externa aplicada irá somar-se à tensão superficial como força motriz para o processo de sinterização. Adicionalmente, pressões extremamente elevadas permitem a deformação plástica dos materiais, promovendo um contato íntimo e extenso das partículas e eliminando poros e trincas. Isso tende a diminuir o tempo e/ou a temperatura necessárias para uma boa sinterização, evitando-se o crescimento excessivo de grãos, sem o uso de aditivos. Além disso, as pressões elevadas provocam fratura nos grãos em materiais frágeis ou dúcteis altamente encruados, o que propicia um pó de partida, para a sinterização, mais fino, sem os riscos de contaminação presentes, quando são usados métodos de cominuição prévia do pó. Além disso, comparando-se as densidades das amostras entre si observa-se que o tempo influenciou significativamente no aumento da densidade verde. A amostra 20-2-12 SC apresentou o maior valor de densidade. Entretanto de acordo com a evolução de aumento dessa propriedade nota-se que tempos superiores a 12 horas tendem a não produzir algum aumento significativo nessa propriedade. Em cavacos

de aço SAE 1050 ($\geq 850 \mu\text{m}$) sob 2 GPa foi possível aumentar a densidade verde desse material aumentando-se o seu tempo de compactação a valores de até 12 horas.

Outro aspecto interessante observado na Tab. (2) é aquele relacionado aos resultados de microdureza. Todas as amostras apresentaram valores de microdureza superiores àqueles apresentados na amostra original. Esse resultado é um forte indicativo de que os cavacos sob 2 GPa sofreram um grau de encruamento significativamente elevado independente da região onde foi realizada a impressão. Comparando-se esses resultados de microdureza entre si nota-se que é possível associar o valor de microdureza com o grau de ligação entre os cavacos. Nos contornos os valores foram menores, mas ainda superiores àqueles observados na amostra original e isso identifica não somente o elevado nível de encruamento dos cavacos, mas também do seu elevado grau de ligação.

Tabela 2. Valores de Densidade das amostras sem adição de carbeto.

AMOSTRAS	DENSIDADE	
	COMPACTADA(g/cm^3)	RELATIVA (%)
20-2-00	7,0165	89,50
20-2-01	7,0631	90,09
20-2-06	7,1022	90,59
20-2-12	7,1297	90,94

OBS: Para determinação da densidade relativa a densidade teórica utilizada como referência medida com picnômetro na amostra do aço SAE 1050 de partida com dimensões iguais à das amostras compactadas foi de $7,84 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Tabela 3. Valores de Microdureza das amostras sem adição de carbeto.

AMOSTRAS	MICRODUREZA (HV)	
	CENTRO DO CAVACO	CONTORNO DO CAVACO
20-2-00	$342.40 \pm 71,37$	$247.81 \pm 32,61$
20-2-01	$344.42 \pm 38,68$	$239.41 \pm 33,73$
20-2-06	$339.01 \pm 59,52$	$224.79 \pm 35,10$
20-2-12	$319.33 \pm 27,45$	$244.58 \pm 19,81$

OBS: Para fins comparativos na análise dos resultados foi medido a microdureza na amostra original de aço médio carbono (sem compactação e sinterização): $202,4 \pm 23,7 \text{ HV}$.

Nas Tabelas. 4 e 5 são apresentados os valores da densidade e microdureza das amostras obtidas com adição do carbeto de nióbio (NbC) em diferentes tempos de compactação. Comparativamente com os resultados apresentados nas amostras compactadas sem adição de NbC notou-se que houve uma redução visível nos valores de densidade. Enquanto essa redução pode ser atribuída à presença do carbeto na

microestrutura do aço, a sua dispersão pode estar relacionada a falta de reprodutibilidade no procedimento de mistura adotado do NbC com os cavacos antes de sua compactação.

Diferentemente da densidade os valores de microdureza não apresentaram alterações significativas quando comparados com aqueles apresentados na Tab. (1). Embora o NbC esteja disperso no material, ele não atua como uma restrição a deformação plástica gerada na matriz de aço durante a aplicação de carga usada para realizar as medidas de microdureza (FURUKAVA, 2007). Esse resultado reforça o quanto os valores de microdureza obtidos nas amostras dependem principalmente do encruamento.

Tabela 4. Valores de Densidade das amostras com adição de carbeto.

AMOSTRAS	DENSIDADE	
	COMPACTADA(g/cm ³)	RELATIVA (%)
20-2-00	6,8050	86,80
20-2-01	6,9456	88,59
20-2-06	6,9494	88,64
20-2-12	6,9022	88,04

OBS: Para determinação da densidade relativa a densidade teórica utilizada como referência medida com picnômetro na amostra do aço SAE 1050 de partida com dimensões iguais à das amostras compactadas foi de 7,84 g/cm³.

Tabela 5. Valores de Microdureza das amostras com adição de carbeto.

AMOSTRAS	MICRODUREZA (HV)	
	CENTRO DO CAVACO	CONTORNO DO CAVACO
20-2-00	329.39 ± 24,35	245.49 ± 36,25
20-2-01	314.35 ± 38,59	233.81 ± 39,65
20-2-06	340.80 ± 24,84	267.61 ± 28,47
20-2-12	336.05 ± 27,44	247.45 ± 47,69

OBS: Para fins comparativos na análise dos resultados foi medido a microdureza na amostra original de aço médio carbono (sem compactação e sinterização): 202,4±23,7HV.

CONCLUSÃO

Para o aumento de tempos de compactação de até 12 horas obteve-se um significativo aumento nos valores da densidade verde das amostras principalmente naquelas sem a presença de carbetos na microestrutura; O encruamento ocorrido nas amostras depende basicamente da pressão e não do tempo de compactação e foi o principal responsável pelo aumento da microdureza do aço;

Pressões extremamente elevadas permitem a deformação plástica dos materiais, promovendo um contato íntimo e extenso das partículas e eliminando

poros e trincas. Além disso, elas provocam fratura nos grãos e/ou cavacos de materiais frágeis ou dúcteis altamente encruados, o que propicia um pó de partida, para a sinterização, mais fino, sem os riscos de contaminação presentes, quando são usados métodos de cominuição prévia do pó.

REFERÊNCIAS

CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**, traduzido por S. M. S. Soares, Revisado por P. E. V. de Miranda; 5ª Edição, Rio de Janeiro: LTC Editora, (2002). Traduzido de Materials Science and a engineering: Anintroduction.

COLPAERT, H. Constituintes dos aços carbono esfriados lentamente. In:____. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 3. ed. São Paulo, Edgard Blücher,1974. p.156-165.

LEGZDINS, C. F.; SAMARASEKERA, I. V.; MEECH, J. A. J.; **MMCX-An Expert System for Metal Matrix Composite Selection and Design**. CanadianMetallurgicalQuaterly, 36, n.3, p. 177-202, 1997.

PINNOW, K. E., STASKO, W.; "P/M tool steels". In Metals Handbook, ASM, tenth edition, 1, p. 780-792, 1990.

Reciclagem do Aço disponível em:
<dspace.unimap.edu.my/dspace/.../liteerature>,
acesso em 30 de agosto de 2010.

RESENDE, L., **Proposta de uma Rota de Fabricação de Ferramentas de Corte a Partir de Ligas Ferrosas Recicladas**, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Mecânica – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas do Campus Universitário de Rondonópolis da Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2011.

SOARES, S. R. S. **Sinterização de TiB2 em Altas Pressões**. 2003, 124 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PGCIMAT/UFRGS-POA, Rio Grande do Sul.

SOARES, S. R. S. S.; FURUKAVA, M.; GOMES, U. U.; SOUZA, C. P.; OLIVEIRA, L. A., inventores; Universidade Federal do Rio Grande do Norte, cessionário. **Desenvolvimento de uma Rota de Sinterização para obtenção de Compósitos de Matriz Metálica Reforçados com Cerâmicas (MMCs)**.BrasilPatente nº PI06053080.20 de outubro de 2007.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.