

PROCEDIMENTO PARA FABRICAR E AVALIAR MATRIZES QUE OPEREM EM PRESSÕES DE ATÉ 3 GPa

Sergio R. da Silva Soares^{1,a}, Leonardo Resende^{1,a}, Alexandra de O. França Hayama^{1,a},
Luana Goes Soares^{2,b}, Ruan A. de Brito^{1,a}

1 - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) - Av. dos
Estudantes, 5055 – 78736-900 – Rondonópolis – MT.

2 - Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER), Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS) - Avenida Osvaldo Aranha, 99, sala 709 – 90035190 – Porto Alegre – RS.

a sergeva2004@yahoo.com.br.

RESUMO

O domínio da tecnologia de geração de alta pressão nos níveis exigidos no presente trabalho não é trivial. Matrizes especiais, com configurações estruturais que permitem uma solicitação mecânica extrema dos materiais com as quais são construídas, são usadas para produzir esse nível de pressão. Um dos sistemas mais simples para gerar pressões estáticas até 3 GPa (3000 MPa), é do tipo pistão cilindro. Nesse tipo de apparatus, sinterizados altamente densificados podem ser produzidos a partir de materiais particulados colocados dentro de uma matriz e sob uma força axial, pressionados entre dois pistões. No presente trabalho, é apresentado de uma forma esquemática o procedimento usado para fabricar uma matriz (câmara) pistão cilindro projetada para operar em pressões de até 3 GPa (3000 MPa). Posteriormente a partir da compactação de cavacos de um aço 1050 ($\varnothing \leq 850 \mu\text{m}$) nesta matriz, foi avaliado o efeito da pressão na microestrutura compactada. Os resultados obtidos mostraram que: a) A matriz projetada pode operar em pressões de até 3 GPa; b) A microestrutura compactada sob pressões a partir 1 GPa (1000 MPa) se apresentou uniforme, altamente densificada e semelhante aquelas obtidas por métodos convencionais que geralmente exigem o uso da pressão e temperatura.

Palavras-chave: sinterização a frio, matriz para operar em pressões de até 3000 MPa, cavacos ferrosos..

INTRODUÇÃO

Usualmente aplica-se o termo “alta pressão” para pressões acima de 1GPa (aproximadamente 10.000 atm.). A geração de alta pressão pode ser feita de uma maneira estática ou dinâmica. A dinâmica envolve geralmente o uso de explosivos, enquanto a estática, usada no presente trabalho, é obtida pela aplicação direta de força mecânica a um meio transmissor de pressão, em cujo interior encontra-se o material particulado a ser processado. Um dos sistemas mais simples para gerar altas pressões estáticas é a câmara pistão cilindro. Ela consiste de um cilindro onde são alojados os pistões que, ao serem acionados por uma força externa “F”, comprimem um volume “V” colocado entre eles. Embora o volume de amostra produzido seja

grande, a pressão gerada neste sistema limita-se à valores de 4,0 GPa, porque os componentes mais exigidos, o cilindro e o pistão têm baixa resistência às tensões tangenciais de tração desenvolvidas em cargas mais elevadas. A alternativa usual para se gerar pressões acima de 4,0 GPa é o uso de outras geometrias ^(1,2,3,4).

O domínio da tecnologia de geração de alta pressão nos níveis exigidos para a construção e uma câmara pistão cilindro não é trivial ^(5,6). Neste trabalho é apresentado a rota de fabricação de uma câmara pistão-cilindro para operar sob pressões de até 3 GPa. Este dispositivo é composto de pistões cilíndricos, anel de cintamento dos pistões e um cilindro com furo passante de parede grossa. Segundo a literatura ⁽⁷⁾ foi adotado a importância que deve-se dar ao cintamento. Ele é uma das questões técnicas mais importantes na construção de câmaras de alta pressão e tem como finalidade produzir uma pré-compressão lateral nos pistões. Esta tensão compressiva induzida pelo cintamento é que gera a sustentação lateral responsável pelo aumento do limite de força aplicável sobre eles (eleva a capacidade de gerar pressão da câmara) pela restrição ao surgimento de tensões trativas neles, que os levem à ruptura. A pré-compressão nos pistões através do cintamento é obtida montando anéis concêntricos à eles com interferência. Esta interferência é um ajuste forçado, em que uma peça é inserida dentro de outra que tem um diâmetro interno menor que o diâmetro externo da peça inserida. O principal objetivo neste trabalho é mostrar de uma forma resumida o procedimento adotado para a construção da câmara. Especificamente é apresentado com um certo detalhamento, os fundamentos teóricos que governam a construção deste tipo de aparato, os detalhes de projeto, fabricação e montagem da câmara supracitada. Posteriormente a partir da compactação de cavacos de um aço 1050 ($\varnothing \leq 850 \mu\text{m}$) nesta câmara, é avaliado o efeito da pressão na microestrutura compactada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi usado para a fabricação da câmara, os aços GGD ferramenta D6 e 4340 para a confecção dos pistões e cintamento respectivamente. A composição química destes materiais é apresentada na tabela 1.

Tabela1. Composição química segundo o fabricante dos aços D6 e 4340 usados neste trabalho.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS (%)							
ELEMENTOS	C	Si	Mn	Cr	W	Ni	Mo
D6	2.15	0.25	0.45	12.00	0.70	XXX	XXX
4340	0.38 – 0.43	0.15 – 0.35	0.60– 0.80	0.80– 1.10	0.00	1.65– 2.00	0.20– 0.30

Adicionalmente na Figura 1 é apresentado algumas características dos cavacos de aço SAE 1050 com diâmetro ($\varnothing \leq 850 \mu\text{m}$) e distribuição heterogênea de comprimento ($L \geq 5000 \mu\text{m}$) que foram usados no presente trabalho para avaliar o efeito da pressão produzida pela câmara de alta pressão na microestrutura compactada deste material. Amostras cilíndricas com 3 mm de altura e 8 mm de diâmetro foram compactadas sob pressões uniaxiais de até 3000 MPa.

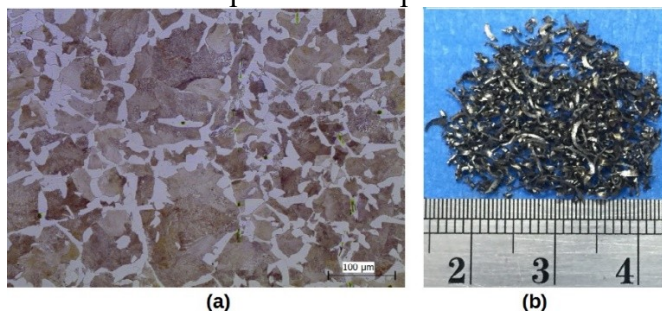


Figura 1. Características dos cavacos de aço SAE 1050: a) fases ferrita (região clara) e perlita (região escura) presentes na microestrutura; b) tamanho e distribuição heterogênea de morfologia dos cavacos.

Para a realização do projeto, tratou-se a câmara de alta pressão como um arranjo de cilindros compostos acoplados sob pressão dentro do regime linear elástico. Esse é um problema clássico em resistência dos materiais, conhecido como Problema de Lamé^(7,8). Para o cálculo das tensões σ_t e σ_r (tangencial e radial respectivamente) e da interferência δ na interface entre os dois anéis, definida como a diferença entre o raio externo do cilindro interno e o raio interno do cilindro externo, as seguintes equações foram usadas:

$$\sigma_t = \frac{P_{\text{interno}} * r_{\text{interno}}^2 - P_{\text{externo}} * r_{\text{externo}}^2}{r_{\text{externo}}^2 - r_{\text{interno}}^2} + \frac{(P_{\text{interno}} - P_{\text{externo}}) * r_{\text{externo}}^2 * r_{\text{interno}}^2}{(r_{\text{externo}}^2 - r_{\text{interno}}^2) * r^2} \quad \text{equação (1)}$$

$$\sigma_r = \frac{P_{\text{interno}} * r_{\text{interno}}^2 - P_{\text{externo}} * r_{\text{externo}}^2}{r_{\text{externo}}^2 - r_{\text{interno}}^2} - \frac{(P_{\text{interno}} - P_{\text{externo}}) * r_{\text{externo}}^2 * r_{\text{interno}}^2}{(r_{\text{externo}}^2 - r_{\text{interno}}^2) * r^2} \quad \text{equação (2)}$$

$$\delta = \frac{P_{\text{contato}} * r}{E_{\text{externo}}} * \left(\frac{r^2 + r_{\text{externo}}^2}{r_{\text{externo}}^2 - r^2} + \nu_{\text{externo}} \right) + \frac{r * P_{\text{contato}}}{E_{\text{interno}}} * \left(\frac{r_{\text{interno}}^2 + r^2}{r^2 - r_{\text{interno}}^2} - \nu_{\text{interno}} \right) \quad \text{equação (3)}$$

onde, μ representa o coeficiente de Poisson, “E” o módulo de elasticidade do material, “P” a pressão de contato na interface que corresponde a um raio igual a “r”, ora raio interno do cilindro interno ora raio externo do cilindro externo. Na execução do projeto, de acordo com o limite mecânico máximo, estabelecido pelo critério de falha adotado para o aço 4340, se estimou a interferência necessária entre os pares de anéis para a montagem (embutimento) da câmara. A partir disso, foram definidas as dimensões, os ângulos e a sequência em que a montagem deveria ser feita. Durante a fabricação das peças foi necessário um controle dimensional estrito para que as medidas usinadas ficassem dentro da tolerância especificada ($\pm 0,1$ mm) e o acabamento superficial lateral das peças feito por uma retífica de precisão apresentasse uma rugosidade superficial em torno de 0,4 mm. Além disso, foi necessário que se desenvolvesse no laboratório o procedimento de tratamento térmico para a têmpera dos: a) pistões; b) anel de cintamento dos pistões; c) e cilindro com furo passante de parede grossa. O tratamento foi feito em cada uma destas peças com o controle mais apurado possível, para que elas ficassem com a dureza projetada e uniformemente distribuída. Finalmente, realizou-se o embutimento por prensagem (colocação de uma peça dentro de outra sob pressão), que é o processo final para a montagem da câmara pistão-cilindro construída nos laboratórios do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) e apresentada em vista explodida na Figura 2.

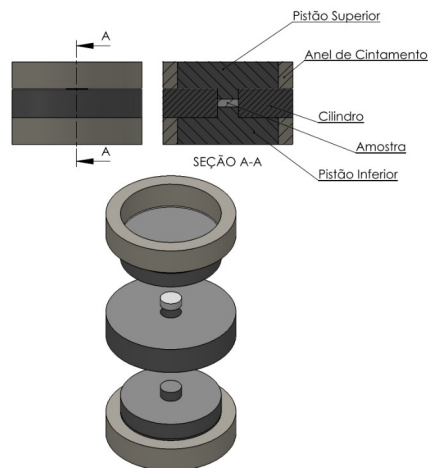


Figura. 2 Representação esquemática da montagem da câmara para a produção das amostras compactadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentado a imagem de duas câmaras que foram submetidas a diferentes pressões. Enquanto a construída sem cintamento mostrada na Figura 3a fraturou sob uma pressão de 1 GPa, aquela fabricada com cintamento e apresentada na Figura 3b, não fraturou quando submetida a 3 GPa. Como pode ser visto o cintamento projetado de acordo com a teoria conhecida como Problema de Lamé foi efetivo.



Figura 3 – Câmara fabricada: (a) Sem cintamento; (b) Com cintamento.

Na figura 4 é apresentado o sistema de alta pressão e nele a sequência adotada para a partir de cavacos de um aço 1050 ($\phi \leq 850 \text{ }\mu\text{m}$) sob pressão de 3 GPa produzir compactos altamente densificados. Da esquerda para direita tem-se a câmara: a) desmontada; b) pré-montada com furo passante preenchido com cavacos; c) sob pressão dinâmica até 3 GPa; d) na pressão de 3 GPa; e) montada antes da retirada da amostra compactada. Além disso na Figura 4f é apresentado a típica microestrutura da amostra compactada. Nota-se nela que a sua aparência segundo a literatura ⁽⁹⁾ semelhante a estágio final de sinterização onde a densidade relativa deve ser superior a 95% foi obtida sem o uso de temperatura e somente sob o efeito da pressão.

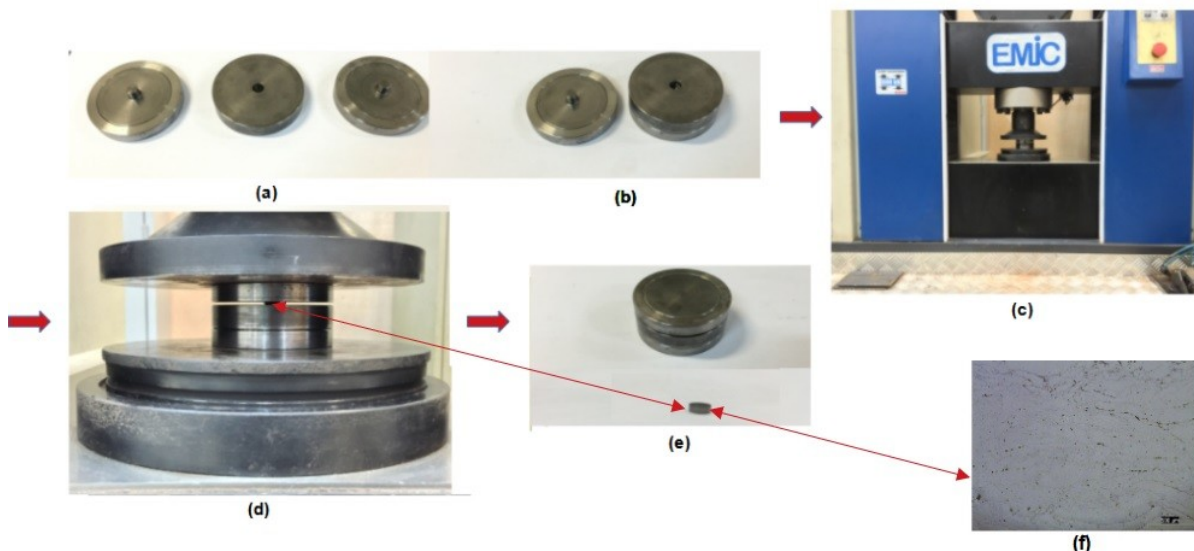


Figura 4. Câmara: a) desmontada; b) pré-montada com furo passante preenchido com cavacos; c) sob pressão dinâmica até 3 GPa; d) na pressão de 3 GPa; e) montada antes da retirada da amostra compactada f) típica microestrutura compactada.

CONCLUSÕES

O cintamento projetado e fabricado para a câmara pistão cilindro possibilitou que ela opere em pressões até 3 GPa.

A microestrutura obtida em 3 GPa sob o efeito somente da pressão uniformemente distribuída é típica de estágio final de sinterização e diferentemente dos processos convencionais de sinterização, foi produzida sem o uso de temperatura.

AGRADECIMENTOS

Os resultados experimentais apresentados neste trabalho foram obtidos principalmente nos Laboratórios de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Rondonópolis.

REFERÊNCIAS

- 1 STEWARD, J. W. El mundo de Alta Pression, Mexico, Editorial Reverté, 1971.
- 2 BRIDGMAN, P. W. Recent Work in the Field of High Pressures, Reviews of Modern Physics, 18 (1), 1946.
- 3 BUNDY, F. P. Ultra-high Pressure Apparatus. Physics Reports, Amsterdam, 1998.
- 4 NOVIKOV, N. V.; LEVITAS, V. I.; SHESTAKOV, I. Fundamentals of Strength and Durability Calculations for High Pressure Apparatus Elements, Physics, v. 139, 140B, p.782-784, 1986.
- 5 FÉODODIEV, V. Resistência dos Materiais, Porto, Editora Lopes da Silva, 1977.
- 6 JUVINALL, R. C. Engineering Considerations of Stress, Strain, and Strength, New York, MacGraw-Hill Book Company, 1967.
- 7 TIMOSHENKO, S. P. Resistência dos Materiais 2, Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1973.
- 8 Silvano, Saragosa. "Mathematical model of the Lamé Problem for Simplified Elastic Theory applied to Controlled-Clearance Pressure Balances." *arXiv e-prints* (2010): arXiv-1007.
- 9 GERMAN, R. M. Fundamentals of Sintering In: Engineered Materials Handbook, v. 4. Ceramics and Glasses. ASM International. Metals Park, Ohio (1991), p. 261-269.

PROCEDURE TO MANUFACTURE AND EVALUATE DIETS THAT OPERATE AT PRESSURES OF UP TO 3 GPa

ABSTRACT

The mastery of high pressure generation technology at the levels required in the present work is not trivial. Special dies, with structural configurations that allow extreme mechanical stress on the materials they are constructed from, are used to produce this level of pressure. One of the simplest systems for generating static pressures up to 3 GPa (3000 MPa) is the piston-cylinder type. In this type of apparatus, highly densified sinters can be produced from particulate materials placed inside a die and under an axial force, pressed between two pistons. In the present work, the procedure used to manufacture a matrix (chamber) piston cylinder designed to operate at pressures of up to 3 GPa (3000 MPa) is presented in a schematic way. Subsequently, from the compaction of chips of a 1050 steel ($\varnothing \leq 850 \mu\text{m}$) in this matrix, the effect of pressure on the compacted microstructure was evaluated. The results obtained showed that: a) The designed matrix can operate at pressures of up to 3 GPa; b) The microstructure compacted under pressure from 1 GPa (1000 MPa) was uniform, highly densified and similar to those obtained by conventional methods that generally require the use of pressure and temperature.

Keywords: cold sintering, die to operate at pressures up to 3000 MPa, ferrous chips.