

# DESENVOLVIMENTO DO RECIPIENTE COMPOSTO DE MULTIELEMENTOS PARA GERAÇÃO DE ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA ATÉ 2,0 GPa DESTINADO A HIDROEXTRUSÃO E COMPACTAÇÃO<sup>1</sup>

Guerold S. Bobrovnitchii<sup>2</sup>  
Alan M. Ramalho<sup>3</sup>  
Apóstolos J. Sideris Júnior<sup>4</sup>  
Rômulo C. Tardim<sup>5</sup>

## Resumo

Para extrusão hidrostática a frio e compactação de pós, são utilizados equipamentos capazes de gerar pressões de até 2,0 GPa, sendo o recipiente (container) a parte mais carregada, o qual é fabricado normalmente de três a quatro buchas encaixadas por aperto. A eficiência do funcionamento depende do material selecionado para as buchas, dimensões e diferenças entre seus diâmetros. No presente trabalho foi desenvolvida a construção de um container composto de quatro buchas fabricadas de aços 4140 e 4340 de alta dureza. Os cálculos realizados mostraram que o recipiente com diâmetro interno de 30 mm e externo de 200 mm é capaz de suportar uma pressão máxima de 2,0 GPa. Os testes realizados identificaram a presença de tensões na altura do container e ocorrência de tensões axiais devido ao carregamento. A comparação das tensões presentes na seção crítica (metade da altura) permitiu concluir que a metodologia baseada nas fórmulas de Lamé pode ser utilizada para o desenvolvimento do projeto de um recipiente para hidroextrusão.

**Palavras-chave:** Extrusão; Alta pressão; Hidrostática; Recipiente.

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

<sup>2</sup> Prof. Titular do Setor de Materiais Superduros, do Laboratório de Materiais Avançados, da Universidade Estadual do Norte Fluminense.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia de Ciências dos Materiais pelo Setor de Materiais Superduros, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

## 1 INTRODUÇÃO

O recipiente (container) é a parte mais complexa na fabricação de ferramentas de extrusão, da qual dependem as possibilidades tecnológicas e índices econômicos dos processos de hidroextrusão e compactação sob pressões de até 2,0 GPa.<sup>(1)</sup>

Os elementos do container trabalham sob elevadas tensões. A bucha interna deve possuir alta resistência e dureza, a fim de garantir uma máxima resistência ao desgaste e ao mesmo tempo plasticidade e viscosidade dinâmica satisfatórias.<sup>(2)</sup>

As buchas internas são fabricadas de aços de alta resistência com dureza não maior que 48-52 HRC e com alta temperatura de revenimento (500 °C ou mais). As características mecânicas desses aços sob temperatura ambiente devem ser:<sup>(3)</sup>  $\sigma_{ul} = (1700\div 2000)$ MPa;  $\sigma_{es} = (1580\div 1760)$ MPa;  $\delta = (10\div 11)\%$  e  $\psi = (36\div 45)\%$ .

Foi recomendada para a primeira e segunda buchas, a aplicação de aços com as características citadas, mas as restantes podem possuir dureza e resistência menores, entretanto devem ter uma alta plasticidade.<sup>(4)</sup>

Neste trabalho são apresentados os resultados do desenvolvimento e dos testes de um recipiente de quatro buchas com diâmetro interno de 30 mm, a fim de gerar altas pressões hidrostáticas de até 2,0 GPa.

## 2 METODOLOGIA

### Parte Teórica

A escolha do número de buchas, determinação das suas dimensões e dos valores de aperto durante a montagem de recipientes, e também os valores das tensões atuantes no container podem ser realizadas em conformidade com as metodologias apresentadas.<sup>(1-5)</sup>

As tensões equivalentes,  $\sigma_{eq}$ , para todas as buchas do recipiente, foram determinadas levando em consideração a diferença no comportamento do material da bucha durante a tração e compressão, utilizando a quinta teoria da resistência (de Moor):

$$\sigma_{eq} = \sigma_t - \nu \sigma_r \quad (1)$$

Onde:

$\sigma_t$  → tensões tangenciais;

$\sigma_r$  → tensões radiais;

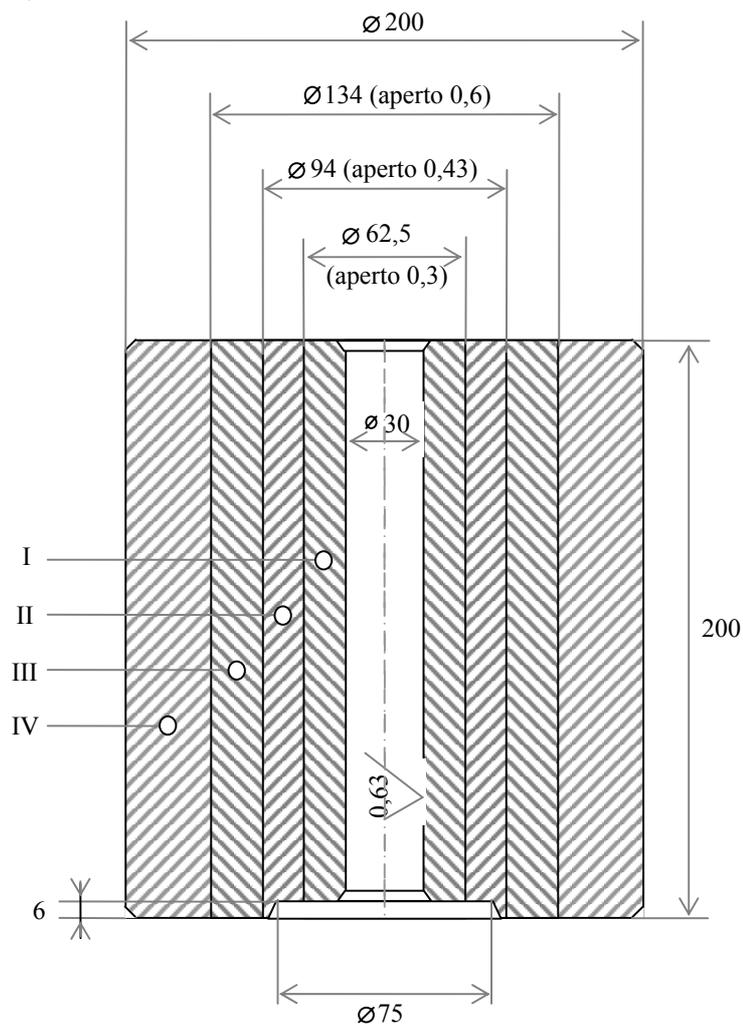
$\nu$  → a relação entre os limites de escoamento do material sob tração e compressão.

### Fabricação do Recipiente

Foram selecionados, à base de recomendações,<sup>(2,5)</sup> os aços 4140 para as buchas 1 e 2, e para as buchas 3 e 4, o aço 4340.

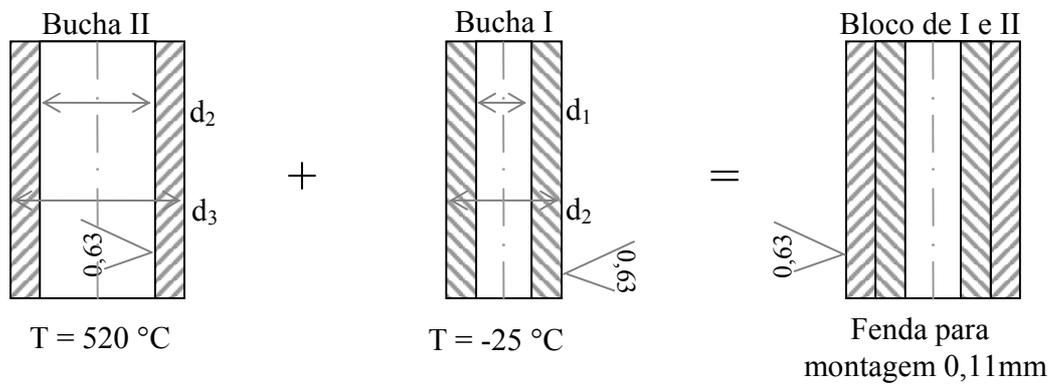
Durante a montagem, as buchas foram submetidas a um tratamento térmico utilizando os seguintes regimes:

- temperatura inicial (recozimento) do forno de 800 °C, para as buchas 1 e 2;
- aquecimento das buchas 1 e 2 elevado até 1400 ± 20 °C;
- resfriamento em óleo;
- revenimento duplo com intervalo de duas horas;
- revenimento para a primeira bucha de 560 a 570 °C;
- revenimento para a segunda bucha de 580 a 590 °C;
- têmpera da terceira bucha de 850 °C e revenimento 530 °C;
- a têmpera da quarta bucha foi 850 °C e revenimento 570 °C.

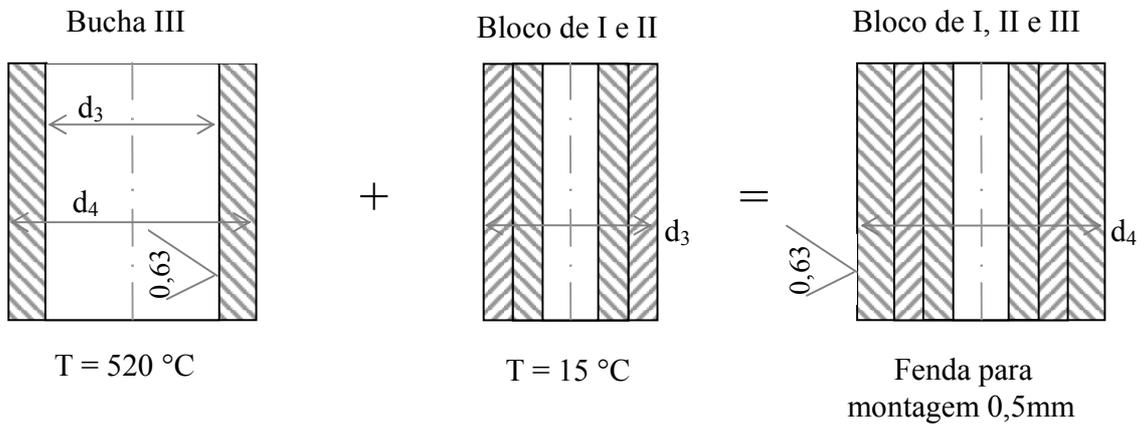


**Figura 1.** A construção do recipiente composto de quatro buchas (I, II, III, IV) para gerar pressões de até 2,0 GPa.

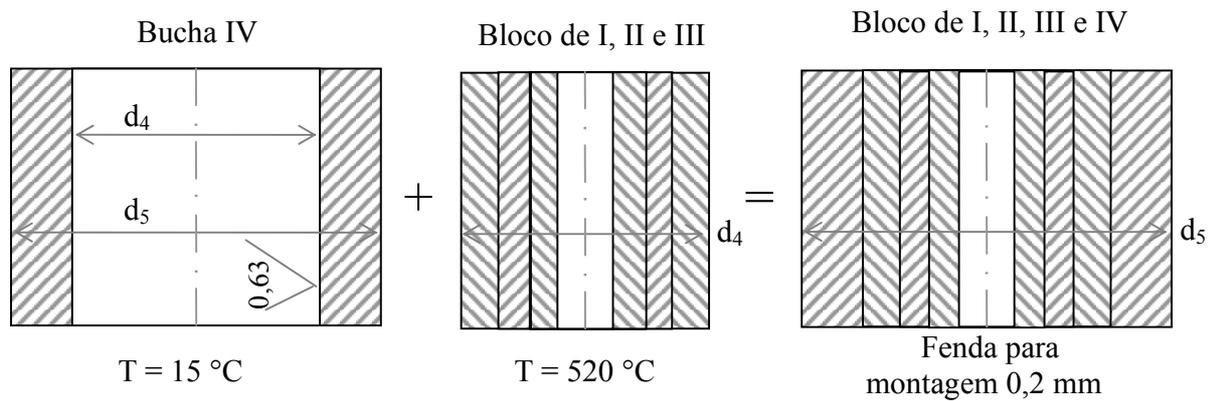
### Montagem 1



### Montagem 2



### Montagem 3



**Figura 2.** Esquema de montagem do recipiente composto de quatro buchas.

Todas as buchas devem possuir dimensões 1,5 mm maiores do que as previstas para a camada sem carbono. Depois da têmpera e retífica, foram submetidas a um controle de defectoscopia, a fim de garantir a ausência de trincas e poros.<sup>(6)</sup> A Figura 1 apresenta a construção do recipiente composto por quatro buchas.

O recipiente foi montado de acordo com o esquema apresentado na Figura 2. Apesar das buchas externas serem fabricadas de aço dúctil, durante a montagem da segunda bucha com a primeira, a segunda é instalada externamente. Por isso o tratamento mecânico e a montagem do recipiente foram realizados sob um controle de segurança, com a utilização de meios de proteção.

O container foi testado numa prensa de 315 toneladas. Para a medição da pressão foi utilizado um sensor metálico.<sup>(5)</sup> Os condutores de corrente foram posicionados em uma tampa especial instalada no lugar da matriz.

Para determinar as deformações e tensões nas superfícies livres do recipiente, foram instalados extensômetros tipo KGF-10-120-C1-11 com base de 10 mm. O registro foi realizado por um computador.

Durante o carregamento, a pressão do líquido (óleo) no recipiente oscilou com velocidade de 14 a 16,5 MPa/s.<sup>(7)</sup>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de tensões calculados para a superfície interna de cada bucha são apresentadas na Tabela 1.

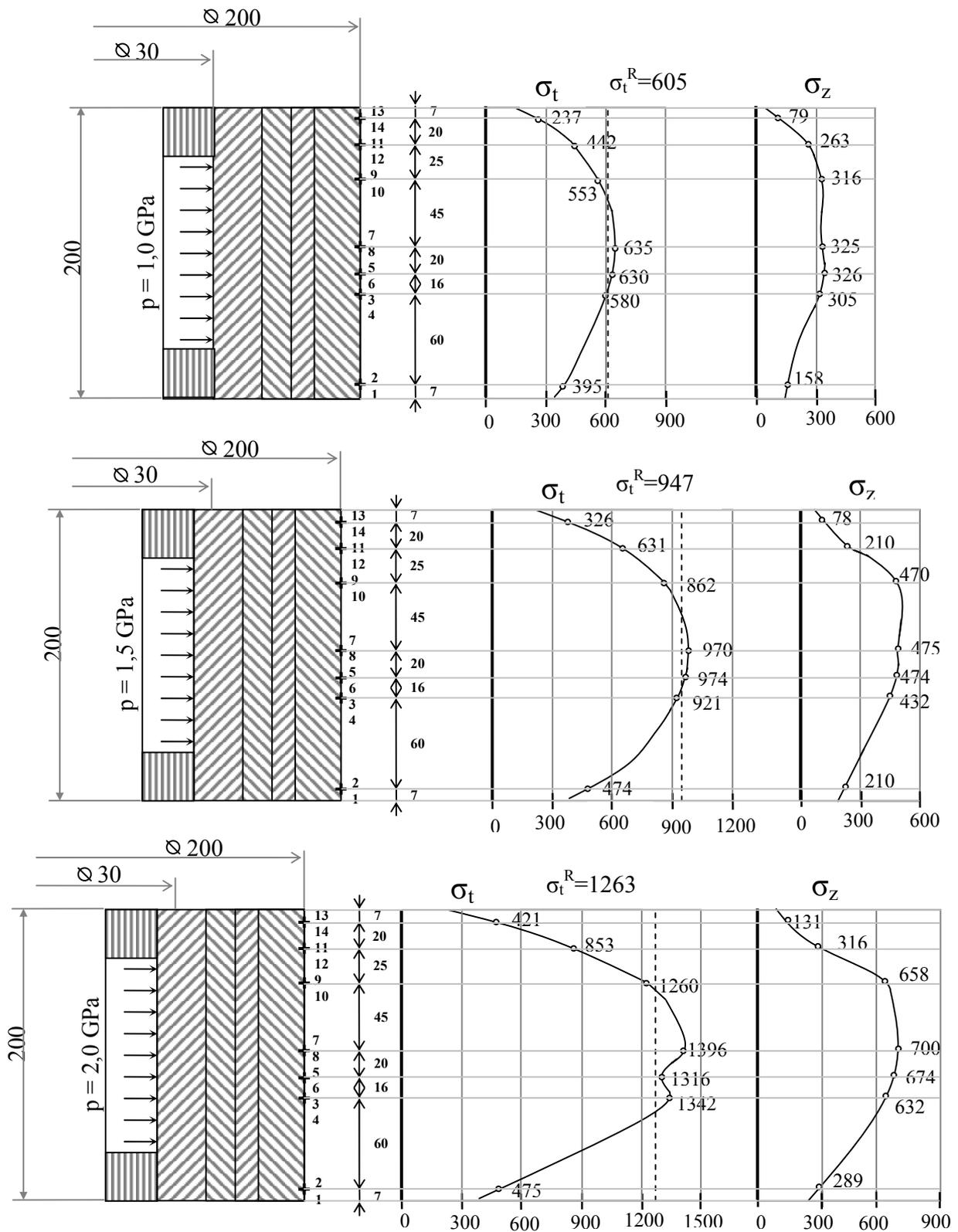
**Tabela 1.** As tensões no recipiente.

Tensões (MPa)	Bucha I (d=30mm)	Bucha II (d=62,5mm)	Bucha III (d=94mm)	Bucha IV (d=134mm)
Radiais	-2000,00	-1190,00	-679,00	-338,00
Tangenciais	351,00	603,00	693,00	887,00
Equivalentes (teoria de Moor com $\nu=0,5$ )	1351,00	1198,00	1031,50	1055,00

Como pode ser observado, o estado de tensão no recipiente é intenso somente para a pressão de 2,0 GPa.

As durezas obtidas nas buchas foram: primeira = 51/52 HRC; segunda = 48/50 HRC; terceira = 46/47 HRC e quarta = 43/45 HRC.

Foi determinado que o desvio de deformações reais quase não ultrapassaram os limites dos instrumentos. As deformações restantes depois do carregamento de 100 vezes não foram encontradas. Então, o recipiente no intervalo de pressão de 0 até 2,0 GPa funcionou em regime elástico.



**Figura 3.** Diagramas das tensões tangenciais e axiais na superfície externa do recipiente causadas por ação da pressão interna.

O diagrama de tensões na superfície lateral (externa) do recipiente é apresentado na Figura 3. As tensões tangenciais não são constantes na altura do recipiente devido ao carregamento pela pressão ocorrer apenas em parte da sua altura. Este tipo de carregamento provoca o aparecimento das tensões axiais,  $\sigma_z$  que possuem valor de  $\sigma_t/2$ . A Tabela 2 apresenta essas tensões.

**Tabela 2.** As tensões tangenciais e axiais medidas na superfície externa do recipiente durante o carregamento sob alta pressão.

Pressão interna 1,0 GPa:

Tensão	1	3	5	7	9	11	13	2	4	6	8	10	12	14
Tangencial, $\sigma_t$	395	580	630	635	553	442	237	-	-	-	-	-	-	-
Axial, $\sigma_z$	-	-	-	-	-	-	-	158	305	326	325	316	263	79

Pressão interna 1,5 GPa:

Tensão	1	3	5	7	9	11	13	2	4	6	8	10	12	14
Tangencial, $\sigma_t$	474	921	974	970	868	631	326	-	-	-	-	-	-	-
Axial, $\sigma_z$	-	-	-	-	-	-	-	210	432	474	475	470	210	78

Pressão interna 2,0 GPa:

Tensão	1	3	5	7	9	11	13	2	4	6	8	10	12	14
Tangencial, $\sigma_t$	475	1342	1316	1396	1260	853	421	-	-	-	-	-	-	-
Axial, $\sigma_z$	-	-	-	-	-	-	-	289	632	674	710	658	316	131

Obs.: Os pontos ímpares referem-se à medição das tensões tangenciais.  
Os pontos pares referem-se à medição das tensões axiais.

As tensões reais tangenciais na seção mais carregada sob pressão máxima de carregamento, não se diferenciam muito (em 5-10%) quando comparadas aos valores obtidos pelas fórmulas de Lamé. Isto prova a possibilidade da aplicação destas relações (Lamé) na análise aproximada do estado de tensão dos recipientes carregados ao longo da sua altura, considerando a correlação da altura do recipiente e do diâmetro externo (em nosso caso  $L/D = 1$ ).

#### 4 CONCLUSÕES

- Para a determinação das tensões equivalentes para as buchas do recipiente composto, é necessário considerar a diferença do comportamento do material durante o regime de tração e compressão. Neste caso, para o estudo do plano de tensões, é recomendável aplicar a quinta teoria da resistência (Moor);
- As tensões reais na seção crítica do recipiente (metade da altura) superam as tensões calculadas em 5 a 10%, justificando a validade das fórmulas de Lamé para o cálculo de avaliação;
- Não é necessário considerar a presença das tensões axiais, pois elas têm valor inferior quando comparadas as outras tensões;
- O recipiente projetado suportou quase 2000 operações de carregamento sem ocorrência de deformações plásticas.

## REFERÊNCIAS

- 1 PUGH, H.L.D. Hydrostatic extrusion. In: \_\_\_\_\_. **Mechanical behaviour of materials under pressure**. Amsterdam: Elsevier, 1970. p.391-520.
- 2 DAVIDSON, T. E.; KENDALL, D.P. The design of high pressure containers and associated equipment. In: PUGH, H.L.D. **Mechanical behaviour of materials under pressure**. Amsterdam : Elsevier, 1970. p. 81.
- 3 PUGH, H. LI. D. Hydrostatic forming of metals. In: \_\_\_\_\_. **Mechanical behaviour of materials under pressure**. Amsterdam : Elsevier, 1979. p. 423.
- 4 DAWSON, V. C. D. High pressure containment in cylindrical vessels. In: SPAIN, I. L.; PAAUWE, J. **High pressure tecnology**. New Jersey : Marcel Dekker, 1979. p. 229.
- 5 MAKSIMOV, L. Y.; GURJEVA, L.I.; ROZANOVA, N. .Beficient designs of high pressure units for laboratory and industrial equipment. In: AIRAT INTERNATIONAL CONFERENCE, 11., 1989, Kiev. **Proceedings...** Kiev : Naukova Dumka, 1989. v.4: High pressure science and technology, p. 7-10.
- 6 VERESHAGIN, L. F. **Synthetic diamond and hydroextrusion**. Moscou : Nanka, 1982. p. 328.
- 7 BOBROVNITCHII, G.S.; RAMALHO, A.M.; SIDERI JUNIOR, A.J. Hidroextrusão a frio: interações entre a matriz e o tarugo. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60., 2005, Belo Horizonte. São Paulo: ABM, 2005. 1 CD-ROM. p. 3679-3687.

# DEVELOPMENT OF THE COMPOSED CONTAINER OF MULTIELEMENTS FOR HYDROSTATIC HIGH PRESSURE GENERATION UP TO 2,0 GPa DESTINED TO HIDROEXTRUSÃO AND COMPACTING<sup>1</sup>

*Guerold S. Bobrovnitchii*<sup>2</sup>  
*Alan M. Ramalho*<sup>3</sup>  
*Apóstolos J. Sideris Júnior*<sup>4</sup>  
*Rômulo C. Tardim*<sup>5</sup>

## **Abstract**

For cold hydrostatic extrusion and compacting of powder use the equipment capable to generate pressures up to 2,0 GPa. The part most loaded of the equipment is the composed container, that is conveniently made of three to four rings with squeeze. The efficiency in the operation of the container depends on the material chosen for the rings, dimensions, differences of the diameters between the rings. The present work accomplishes the construction of the composed container of four steel rings made of 4140 steel and 4340 steel with high hardness. The carried through calculations had shown that the container with 30 mm internal diameter and 200 mm external diameter is capable to support the maximum pressure of 2,0 GPa. The carried through tests had shown the presence of oscillation stress in the height of the container and axial stress due to load. The comparison of values of stress in the critical section (half height) allows to justify that the methodology based on Lamé's formulation can be used for development of the project for a hidroextrusion container.

**Key words:** Extrusion; High pressure; Hydrostatics; Container.

<sup>1</sup> 4<sup>o</sup> Meeting of Integrate Net Manufacturer of Tool, Molds and Dies, March 20, 21, 22, 23 and 24 of 2006 – Joinville – SC.

<sup>2</sup> Prof. Titular of Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.

<sup>3</sup> Doctor Science in Engineering of Materials at Sector Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.

<sup>4</sup> Undergraduate Engineering student of Materials at Sector Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.

<sup>5</sup> Graduate Engineering student of Materials at Sector Superhard Materials, Laboratory of Advanced Materials, North Fluminense Staten University.