

- Foi desenvolvido e executado um projeto especial de uma prensa universal de 5000 Ton, a qual pode ser utilizada em diversas tecnologias de DAP, apresentando flexibilidade na regulagem da alta pressão com alta precisão.

6. REFERÊNCIAS

- Bobrovnitchii, G.S., 1982, “Dispositivos de Super Alta Pressão”, Znanie, Moscou, Nº5, pp. 131, (em russo).
- Bobrovnitchii, G.S., 1989, “Concerning Press Dynamics when Instantaneous Failure of Sealing Burr in High Pressure Unit Takes Place”, High Pressure Science and Technology. Proceedings XI AIRAPT International Conference, Kiev, Naukova Dumka, V4, pp. 91-96.
- Bobrovnitchii, G.S., Belovol V.S., 1991, “Novas Prensas Hidráulicas para a Produção de Materiais Superduros”, no livro: Novidades e Tecnologias da Industrialização de Forja, VNIIMETMASH, Moscou, pp. 15 –24, (em Russo).
- Bobrovnitchii, G.S., Ramalho, A.M., 1998, “Determinação da Pressão Ótima nos Cilindros de Prensas e Dispositivos Hidráulicos”, Anais do V Congresso de Engenharia Norte Nordeste – Fortaleza – Ceará, pp. 572-579.
- Bundy, F.P., 1989, “Behavior of Elemental Carbon up to Very High Temperatures and Pressures”, High Pressure Science and Technology, Proc. XI AIRAPT International Conference – Kiev, Naukova Dumka, V.1, pp. 326-332.
- Cifali, M.L., 1995, “Disposição da Estrutura de Prensas”, Patente MU 7302409-0 U, B 30b 15/04.
- Gerity George, 1967, “Advancing the State of the ar Sheet Metal Forming”, Tooling and Product. N7, pp. 33-35.
- Golman L.D., Rozanov B.V., 1963, “Cálculo da Estrutura da Prensa com Colunas Vazias e Cavilhas”, no livro: Prensas Hidráulicas. TSNITMASH, Mashgiz, Moscou, Nº54, pp.34 – 44, (em Russo).
- Jonhson S., 1962, “Hight Press Exerts Heavy Force”, IRON Age, Nº5, p.p. 55-56
- Klockner-Wilhelmsburger, 1996, “Hochdruck – Hochtemperatur Anlage KWG 30 MNP”. Anebout: HT – 5.190 55.96.
- Novoseclov V.A., 1963, “Prensa Hidráulica Pequena com Força de 30000 Ton”. Kuznetchno-Stampovotchnoe Proizvodstvo. Nº2, pp. 62 – 65, (em Russo).
- Sack und Kiesselbach., 1996, “Techische Information”, T1 86.06-01, Gelifere Pressen für das Hochdruck – Hochtemperatur – Verfahren. Hochdruckpresse Model EP 2500, pp. 12.
- Spain, I.L., 1980, “Ultra high Pressures Apparatus and Tecnology”, Marcel Drekker, V.1, N.J., p.746.
- Storozhev M.V., Dobrinsky N.S., 1976, “Construção das Prensas Hidráulicas de Estampagem para Percursos Curtos”, Kuznetchno-Stampovotchnoe Proizvodstvo, Nº5, pp 59 – 62, (em Russo).
- Ueda M., Okamoto H., 1991, “Ultra-High Pressures Generating Apparatus”. Kobelco Technology Review. Japão Nº12, p.p. 37-42.

são fixados nas quatro colunas cilíndricas e suas extremidades entram nos furos das travessas inferior 1 e superior 2. Nas guias são feitos furos com precisão elevada. No desenho não são mostrados os mecanismos complementares pois sua descrição não faz parte dos objetivos deste trabalho. A prensa de 630 Ton tem a mesma configuração da prensa de 2500 Ton

A estrutura da prensa de 5000 Ton é composta também por travessas 1 e 2, duas colunas 3 e um enrolamento 4 de fita. O cilindro 5 com êmbolo é instalado livremente entre a estrutura com suporte na travessa inferior 2. A travessa móvel 6 está acoplada com o êmbolo e com quatro colunas 7. Os dois cilindros de retorno 8 são instalados em diagonal e os punções dos cilindros são ligados a travessa móvel 6. A transmissão hidráulica inclui uma bomba especial, com capacidade de regular flexivelmente a pressão durante o carregamento e redução da pressão conforme o programa desejado.

Atualmente uma prensa de força 630 Ton e outra de 2500 Ton estão instaladas no Centro das Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ. Os testes nas prensas mostraram que elas possuem rigidez bastante elevada. Por exemplo, o paralelismo das superfícies de trabalho das prensas não ultrapassam o valor 0,12 mm a cada 1000 mm durante a aplicação da força nominal.

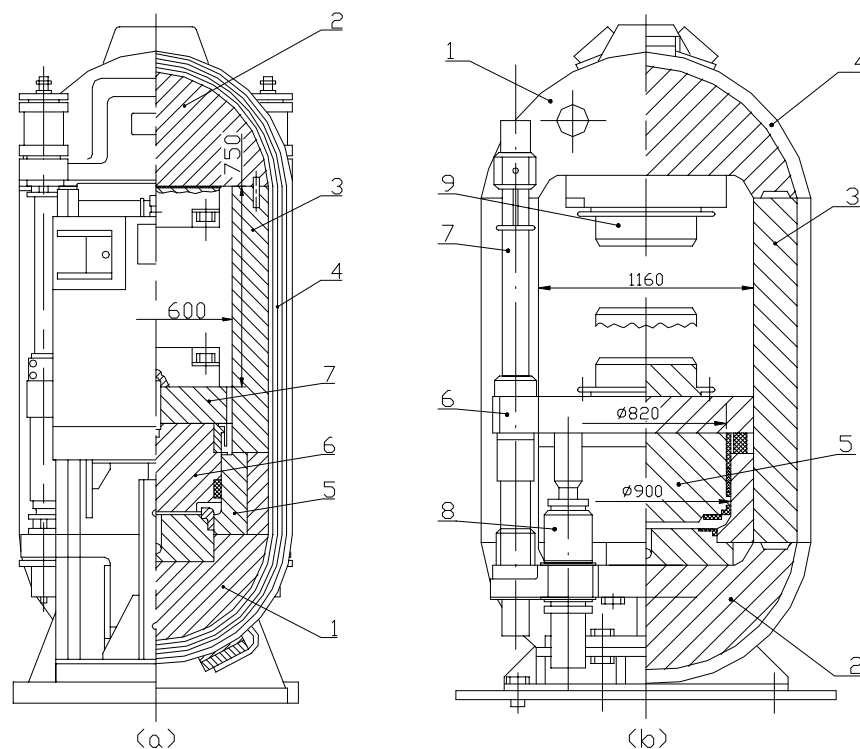


Figura 3. Prensas hidráulicas semi-automáticas para a produção de materiais superduros com força de 2500 Ton (a) e de 5000 Ton (b).

5. CONCLUSÕES

- Foram elaborados métodos para o desenvolvimento de projetos de prensas especiais usadas na fabricação de materiais superduros.
- Foi projetada e fabricada em série prensas compactas de 630 Ton usada na produção de pós de diamantes policristalinos e outros materiais superduros.
- Foi projetada e fabricada em série prensas de pequenas dimensões de 2500 Ton usada na produção de pós de diamantes monocristalinos, compósitos e outros materiais superduros.

externas dos cilindros de trabalho e o esquema da construção da estrutura. Para as prensas de 630 e 2500 Ton foi escolhida uma estrutura que inclui o corpo do cilindro. O corpo do cilindro é preso entre as colunas e as traves fixas, inferior e superior. A parede do cilindro serve como uma parte das colunas. O valor da pressão de trabalho é determinado pela distância entre as colunas e tem valor de 32 MPa para a prensa de 630 Ton e 125 MPa para a prensa de 2500 Ton.

Na prensa de força 5000 Ton a distância entre as colunas permite a instalação do cilindro com apoio na trave inferior e a utilização, se desejado, do DAP tipo “Belt”. A pressão de trabalho é determinada por essa distância e pelo material utilizado no cilindro, sendo em torno de 80 MPa.

As quatro colunas das guias são utilizadas para aproximação rápida e para retorno da trave móvel na prensa de 630 Ton. Na prensa de 2500 Ton elas são usadas somente para retorno e na prensa de 5000 Ton os cilindros de retorno foram colocados separadamente das guias.

A estrutura das prensas foi pré-tensionada por meio do enrolamento de fita de aço com limite de escoamento superior a 1500 MPa. O cálculo foi realizado supondo que a estrutura da prensa sofre vibrações, as quais podem acontecer de vez quando devido a explosões das gaxetas no DAP (Bobrovnichii, 1989).

As características técnicas das prensas elaboradas são apresentadas na Tabela 1. Comparando as massas e as dimensões destas prensas com as construções oferecidas no mercado, pode-se dizer que há alguma economia e vantagens na sua produção, principalmente no funcionamento.

Tabela 1. Características técnicas das prensas construídas

Parâmetro	Modelo		
	D00138B	D0044	D0047P
Esforço nominal (MN)	6,3	25	50
Altura da abertura do espaço de trabalho (mm)	200	420	1100
Distância entre as colunas (mm)	600	600	1160
Curso máximo (mm)	50	75	200
Pressão no cilindro de trabalho (MPa)	32	125	80
Tempo de operação:			
▪ Aumento da pressão (s)	3/5	60/360	300/1500
▪ Exposição sob a pressão e temperatura (min)	0,1 – 20	0,1 – 60	3/3000
▪ Redução da pressão (s)	5 - 20	15 – 80	240/4000
Precisão na pressão durante a exposição (%)	1,5	1,5	0,8
Capacidade máxima do aquecimento (KVA)	10	20	40
Gabaritos de instalação (mm):			
- Largura	2200	2500	10375
- Profundidade	2380	4100	6825
- Altura	2230	2585	3055
Massa da prensa (Toneladas)	4,2	10,7	37
Massa da instalação (Toneladas)	6	16	54

As construções das prensas de força 2500 e 5000 Ton são apresentadas nas Figuras 3a e 3b. A estrutura da prensa de 2500 Ton inclui: duas traves 1 e 2 de forma semicilíndrica, duas colunas 3, um corpo do cilindro 5, um enrolamento de fita 4 que une todos os elementos da estrutura e um êmbolo 6 do cilindro de trabalho que é ligado à trave móvel 7, cujos ressaltos

diminuição do diâmetro do cilindro e da sua altura. Contudo são encontradas algumas dificuldades relativas ao endurecimento superficial nas superfícies internas do cilindro, embora na indústria encontra-se desenvolvidas algumas tecnologias para o endurecimento da superfície de trabalho. A construção preferida é a apresentada na Figura 2e.

A grandeza da pressão influi bastante na diminuição das dimensões. Aumentando o valor da pressão e utilizando aços resistentes pode-se obter a otimização do valor pressão para cada tipo de construção. A pressão que garante dimensões mínimas do cilindro de trabalho, com “n” anéis encaixados uns nos outros e sob um determinado esforço, é determinada pela Eq.(1), onde $[\sigma]$ é a tensão admissível para o material dos elementos do cilindro (Bobrovnitchii *et al*, 1998)

$$p = 0,4 \cdot \frac{n}{n+1} [\sigma] \quad (1)$$

Esta equação mostra a possibilidade de variação do valor da pressão para cada tipo de cilindro de trabalho, embora existam limites para aumento da pressão imposto pelo sistema hidráulico, principalmente nas bombas, e na utilização contínua da alta pressão nos processos.

Para otimizar o direcionamento da trave móvel, ou êmbolo, com o objetivo de se obter o paralelismo desejável nas superfícies de trabalho, podem ser utilizados dois métodos: regulagem das guias por meio de cilindros complementares ou aumentando a distância entre as guias. Este último método é mais fácil de ser empregado utilizando colunas complementares, cujas extremidades ficam distantes uma das outras e fixadas nas extremidades da trave móvel. Estas colunas podem ser aproveitadas como êmbolos dos cilindros de retorno da trave móvel (Bobrovnitchii *et al*, 1991).

O alto nível de paralelismo entre as superfícies de trabalho dos blocos de apoio durante todo o processo, a precisão de colocação do DAP no eixo da prensa, a velocidade de elevação, a conservação da pressão em até 1,5% do valor da pressão de trabalho, a redução da pressão dentro do cilindro e a diminuição da massa e dimensões, exigem a elaboração de uma prensa especial com características determinadas.

4. PROJETOS DAS PRENSAS DE NOVA GERAÇÃO COM FORÇAS DE 630, 2500 E 5000 TON.

Analisando todas as características das prensas elaboradas anteriormente, pode se observar que inicialmente é necessário eliminar as suas desvantagens em relação as tecnologias que serão aplicadas. Cada tipo de tecnologia de obtenção de materiais superduros exige diferentes métodos de manutenção, por exemplo, a utilização do dispositivo tipo “Belt” para curtos períodos de síntese é economicamente inviável. Por isso seu mecanismo de carregamento não pode ter mais de duas posições. Por outro lado utilizando o DAP do tipo bigorna pode ser aplicado para síntese de curta duração podendo utilizar mecanismo de mais de duas posições. Portanto a escolha da distância entre as colunas depende de três fatores: das dimensões do DAP, do tipo de mecanismo de carregamento e da pressão no cilindro de trabalho. Sabendo-se que para as tecnologias de síntese rápida é necessário refrigerar o DAP e fazer a sua manutenção, foi escolhido para a prensa de 630 Ton o mecanismo rotativo com seis posições, que exigem a distância de 600 mm entre as colunas. Para a prensa de 2500 Ton foi usada a construção de duas posições do tipo “etagére” com elevador para a troca da posição do DAP. Na prensa de força 5000 Ton utiliza-se o mecanismo de dois braços que entram com o DAP alternadamente na prensa. Esta construção exige uma distância entre as colunas de 1160 mm.

Conhecendo-se as dimensões entre as colunas é necessário escolher as dimensões

3. OS MEIOS PARA A DIMINUIÇÃO DO PESO E DIMENSÕES DAS PRENSAS HIDRÁULICAS ESPECIAIS:

Podem ser propostas os seguintes meios para diminuição das dimensões sem perda de rigidez e resistência da prensa, mantendo a precisão necessária:

- Otimização da construção do cilindro de trabalho.
- Otimização da pressão necessária para se obter uma determinada força.
- Guias que garantam o paralelismo elevado das superfícies de apoio durante a aproximação e o carregamento.
- Elaboração de uma construção que permita a diminuição das dimensões sem a perda da resistência, principalmente à fadiga.

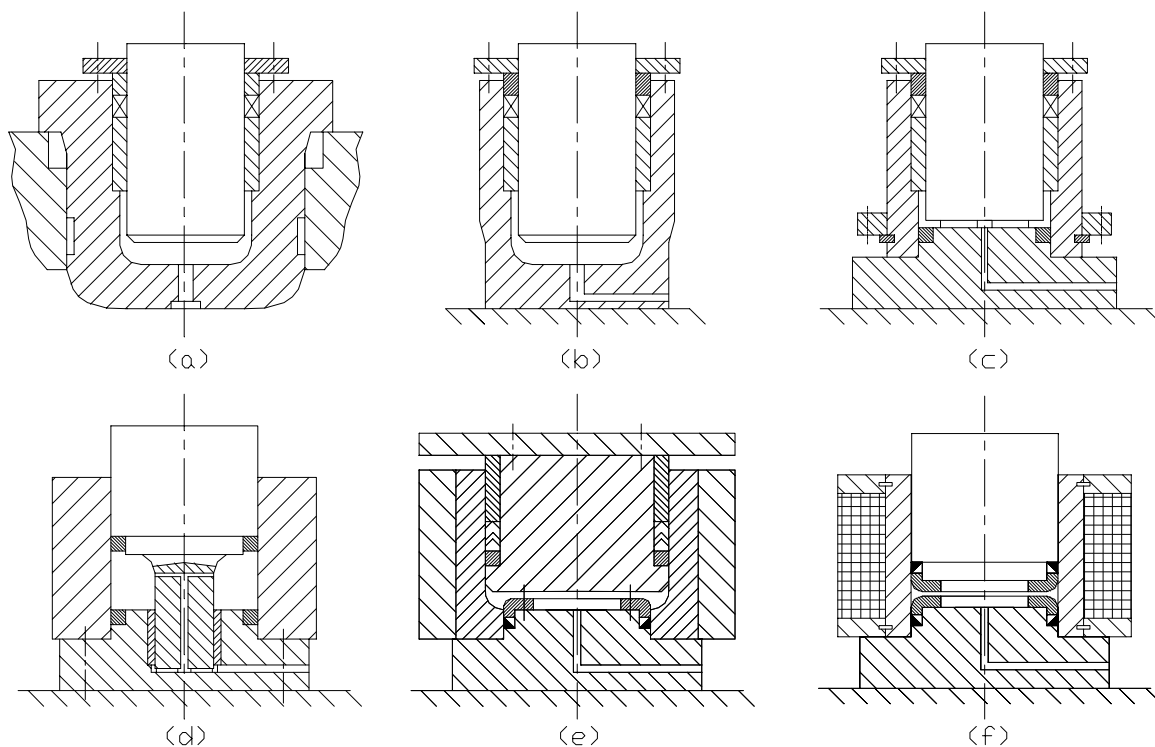


Figura 2. Construções atuais dos cilindros principais das prensas de pequeno curso.

Analisando as construções dos cilindros apresentados na Figura 2, nota-se que o cilindro com flange, Figura 2a, não é recomendável para as prensas especiais. Neste tipo de construção não pode ser aplicada uma pressão superior a 32 MPa devido a presença de concentradores no fundo do cilindro e no flange (Golman *et al*, 1963).

A construção apresentada na Figura 2b permite a diminuição das dimensões do cilindro sob a mesma pressão do caso anterior. A ausência do flange possibilita o aumento das tensões admissíveis. A partir desta construção surgiu o cilindro sem fundo, Figura 2c. Neste tipo de construção só aparecem, praticamente, tensões radiais e tangenciais, tornando mais fácil a fabricação do cilindro, mas a construção da vedação deixa a altura e o diâmetro do cilindro nas mesmas dimensões.

A vedação do cilindro pode ser transferida para o êmbolo, Figura 2 (d, e, f) (Bobrovnichii *et all*, 1991), e o corpo do cilindro pode ser composto por dois anéis (ou buchas) encaixados um dentro do outro, Figura 2e, ou enrolado por fitas de aço de alta resistência, Figura 2f.

Da análise acima conclui-se que as construções mais recentes oferecem vantagens para a

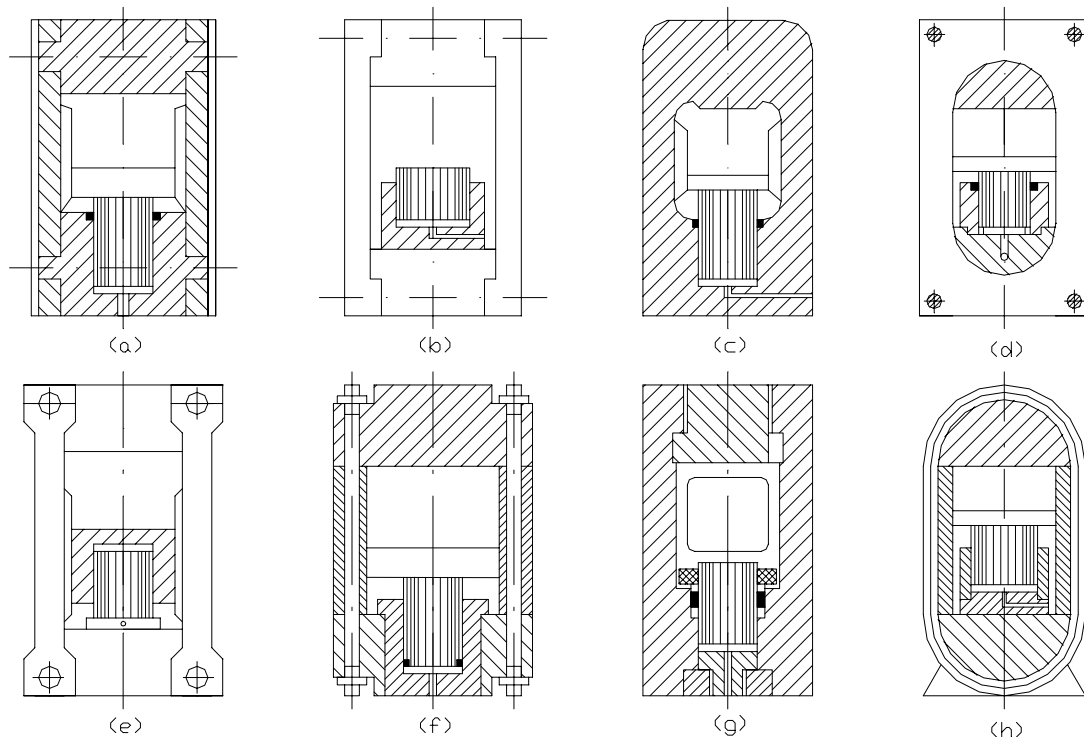


Figura 1. Construções das prensas hidráulicas de pequeno curso com os cilindros principais.

Na Figura 1f está representado a prensa com estrutura pré-tensionada, composta por travessas inferior e superior, duas colunas e chavetas presas com cavilhas. O pré-tensionamento das cavilhas diminui a amplitude das tensões aplicadas nas mesmas durante o carregamento da prensa, permitindo o aumento da sua resistência (Golman *et al*, 1963).

A prensa com estrutura tubular, Figura 4g (Novoseclov, 1963), é simples e muito compacta pois o cilindro faz parte da sua estrutura. Este tipo de prensa são fabricadas para forças de até 30000 Ton.

A Figura 1h representa a prensa com estrutura pré-tensionada por meio de enrolamento de fita de aço de alta resistência. A estrutura inclui duas colunas e dois semi-cilindros unidos pelo enrolamento da fita de seção retangular. Devido à falta de concentradores de tensão esta construção possui elevada resistência à fadiga. A combinação desta estrutura e o cilindro composto permite fabricar prensas com força de até 30000 Ton com gabaritos pequenos (Jonhson, 1962; Ueda *et al*, 1991).

A análise destas principais construções utilizadas para a fabricação de materiais superduros, considerando todas as particularidades aqui citadas, permite concluir que:

- Nas construções mostradas na Figura 1 (a,b,c,d,e) a direção da travessa móvel não garante precisão, pois o paralelismo das superfícies de trabalho das travessas depende da sua rigidez e das deformações nas colunas e no cilindro. Um aumento da rigidez na estrutura e no comprimento do cilindro conduz para uma construção mais pesada e robusta.
- Nas construções mostradas na Figura 1 (a,b,c,f,g,h) a distância entre as colunas depende do diâmetro externo do cilindro que, por sua vez, depende da pressão utilizada.
- A altura entre as superfícies de trabalho da prensa depende da vedação dos cilindros de trabalho.

Nas construções citadas não foi representado o mecanismo de carregamento do DAP no interior da prensa, portanto é difícil avaliar o tipo de mecanismo que influencia na distância entre as colunas da estrutura, exceto na construção representada na Figura 1g, onde o espaço de trabalho é sempre pequeno.

- Controle sobre a velocidade de redução da pressão durante a etapa final da operação, de modo a evitar ejeções do material da gaxeta para fora do DAP.

Todos os tipos de DAP normalmente funcionam acoplados às prensas hidráulicas, ficando portanto condicionados a capacidade, gabaritos, peso e precisão das mesmas.

Na operação do sistema “Prensa-DAP” deve-se considerar que as superfícies de contato do DAP tem área muito menor do que as da estrutura da prensa. Desta forma no projeto do sistema é necessário analisar cuidadosamente todos os requisitos exigidos pelo DAP, bem como as tecnologias de obtenção do produto. Um dos pontos relevantes do projeto é a escolha de um esquema mais adequado possível para construção da prensa especial.

2. ANÁLISE COMPARATIVA DAS CONSTRUÇÕES USADAS NAS PRENSAS HIDRÁULICAS DE PEQUENO CURSO

As prensas construídas no passado para a produção de materiais superduros eram do tipo convencionalmente utilizada para forjamento e estampagem. O uso destas prensas acarretava em uma diferença desproporcional entre as dimensões do DAP e os gabaritos da estrutura.

As causas mais importantes deste fato são as grandes diferenças entre as propriedades dos materiais utilizados no DAP e as peças da própria prensa. No DAP utiliza-se aços especiais e ligas de alta resistência, com limite de resistência até 2500 MPa (Spain,1980), e os elementos da prensa são fabricados, via de regra, com aços estruturais, apresentando tensões admissíveis entre 60 e 90 MPa. Além disso, nas estruturas convencionais sempre aparecem concentradores de tensão. Isso exige a diminuição das tensões máximas admissíveis do projeto. Portanto é interessante analisar as construções das prensas sob este aspecto.

Na Figura 1a é representada uma prensa com estrutura não-tensionada de duas colunas, possuindo o cilindro de trabalho na posição inferior. A trave inferior, que é também o corpo do cilindro, e a trave superior possuem ressaltos onde são encaixadas as colunas, feitas de chapas grossas de aço estrutural. Esta concepção de estrutura apresenta uma grande desvantagem: altas tensões localizadas na junção de encaixe entre as colunas e as travessas (Klockner, 1996). Com essa construção foram elaboradas prensas para gerar forças de até 3500 Ton. Existe outra alternativa como mostrada na Figura 1b (Cifali, 1995), no entanto apresenta desvantagens relacionadas a flexão das colunas na região das guias.

A estrutura inteiriça fundida de duas colunas não tem a junção de encaixe entre as colunas e as travessas, Figura 1c. Ela é compacta e apresenta elevada rigidez. A utilização destas estruturas são limitadas pelas tensões atuantes e propriedades do aço fundido. As prensas deste tipo de estrutura não toleram esforços superiores a 4000 Ton (Sack und Kiesslbach, 1997).

A estrutura da prensa conforme a Figura 1d é feita pela união de chapas laminadas. Dentro da estrutura são colocados setores semicilíndricos, que funcionam como travessas superior e inferior. Este formato de travessas possibilita uma diminuição dos concentradores de tensão nas chapas, porém a diminuição na rigidez transversal não pode ser evitada. É possível a utilização desta construção para prensas com capacidade de até 10000 Ton (Gerity, 1967).

Um outro tipo de construção de estrutura usando chapas laminadas é mostrada na Figura 1e. Ela é formada por colunas e travessas feitas de chapas unidas em uma junção inteiriça e por parafusos cilíndricos especiais. Esta construção permite a utilização de aços de alta resistência (Storozhev *et al*,1976).

PARTICULARIDADES SOBRE OS PROJETOS DE PRENSAS HIDRÁULICAS ESPECIAIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS SUPERDUROS

Guerold Seerguevitch Bobrovnitchii

Alan Monteiro Ramalho

Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: alan@uenf.br

Resumo

Materiais superduros são normalmente fabricados sob altas pressões, em torno de 8,0 GPa, e em temperaturas superiores a 1200°C. A utilização de prensas hidráulicas convencionais para este objetivo apresenta grandes desvantagens devido a baixa rigidez da estrutura que dificulta a obtenção de altas pressões. No presente trabalho é apresentada uma análise dos aspectos específicos envolvidos no projeto e fabricação das prensas deste tipo. Estes aspectos estão relacionados com esquemas técnicos que permitem a concentração de forças em pequenas áreas dos blocos de apoio. Além disso, outros requisitos são exigidos: pequenos cursos de operação, paralelismo com alto nível de precisão entre as superfícies de trabalho dos blocos de apoio e grande estabilidade que possa suportar a elevada pressão de trabalho durante muito tempo. Essas exigências condicionam o desenvolvimento de prensas especiais com estrutura de multielemento previamente tensionados por enrolamento de fita de aço.

Palavras-chave: Alta pressão, Prensa hidráulica, Materiais superduros.

1. INTRODUÇÃO

Uma tendência observada no desenvolvimento dos processos de transformação mecânica é o aumento dos esforços que atuam sobre a peça a ser transformada. Este é um caso típico que vem ocorrendo na implantação das tecnologias de obtenção de materiais superduros.

Sabe-se que materiais superduros como diamante sintético e nitreto cúbico de boro são comercialmente produzidos sob alta pressão, na faixa entre 4,5 GPa e 8,0 GPa, e em temperaturas que variam entre 1200°C e 2000°C (Bundy, 1989). Esses parâmetros operacionais são gerados nos chamados dispositivos de alta pressão (DAP). As indústrias que produzem comercialmente os materiais superduros utilizam três tipos de DAP (Bobrovnitchii, 1982): *Belt*, bigorna com concavidade e multipistões. Cada um deles apresenta vantagens e desvantagens, mas existem algumas propriedades em comum tais como:

- Concentração da força numa pequena área do DAP, condição necessária para a geração de altas pressões requeridas para o processo.
- Dimensões relativamente pequenas do DAP.
- Pequenos deslocamentos durante a operação dos elementos que compõem os DAP.
- Sensibilidade a perturbações relativas nas posições dos elementos do DAP durante as operações de geração e manutenção da alta pressão.
- Grande estabilidade dimensional para suportar e manter elevada pressão durante muito tempo.