

#### 4. CONCLUSÕES

A geração da alta pressão está relacionada com a manutenção do valor admissível da falta de paralelismo para a diminuição das explosões no dispositivo de alta pressão. São recomendados os valores 0,15/1000 mm para as prensas destinadas a produção de diamantes sintéticos e outros materiais superduros.

Foi determinado o valor admissível para a excentricidade permitida do dispositivo em relação ao eixo da prensa, durante a sua colocação. Ela não deve ser maior que 1,0 mm.

O deslocamento da parte inferior do dispositivo alta pressão, em relação a parte a sua superior, não pode ser maior do que 0,5 mm.

#### 5. REFERÊNCIAS

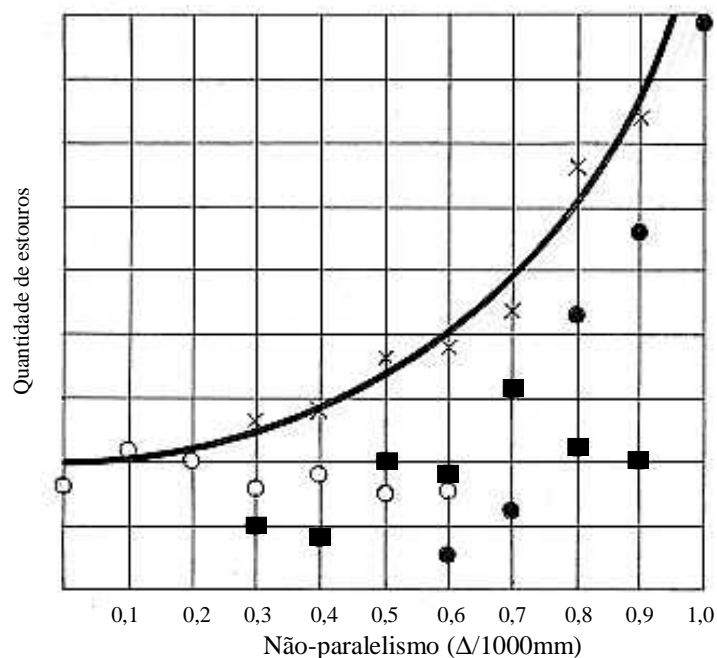
- Bobrovnitchii, G.S., 1982, “Dispositivos de super alta pressão”, Ed. Znanie, N<sup>o</sup>5, Moscou, (em russo) pp. 131.
- Casanova, C.A.M., Oliveira, L.S., Jornada, J.A.H., 1994, “Câmaras para geração de altas pressões utilizadas na obtenção de materiais superduros”, 11<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Paulo, V.1, pp. 893 – 896.
- Gerasimovitch A.V., 1975, “A Influencia da Espessura da Gaxeta Sobre as Características da Compressão e Resistência das Câmaras de Alta Pressão”. Sintetitcheckie Almazy, N 1, pp. 10-14, (em Russo).
- Gerasimovitch A.V., Kulemza V.A., Krikun V.I., 1982, “Estudo dos Materiais das Gaxetas Deformáveis das Câmaras de Alta Pressão”, J.Superhard Materials, N<sup>o</sup> 4, pp. 9-11.
- Novikov, N.N., Levitas, V.I., Chestakov, S.I., 1991, “Estudo da resistência e durabilidade das bigornas de metal duro dos dispositivos de alta pressão”, Problemas da resistência. N<sup>o</sup> 6, pp. 27 – 34, (em russo).
- Novikov N.V., Levitas V.I., Chestakov S.I., 1986, “Fundamentals of Strength and Durability Calculation for High Pressure Apparatus Elements”, Physica, 139 and 140B, pp. 782-784.
- Spain, I.L., Paauwe, J., 1980, “High Pressure Technology”, V.1 e V.2, Chapter 7, N.J. USA, Marcel Dekker, p. 746.
- Sadkov Yu.A., Semerchan A.A., Kuzin N.N., 1976, “Calibration of High Pressure Apparatus With Shaped Bridgman Anvil”. High Temp., High Pressure, 8, N<sup>o</sup>6, pp. 702-703.
- Ueda M., Okanto, H., 1991, “Ultra-high Pressure generating apparatus”.Kobelco Technology Rewiew, N 12, pp. 37-42.

Uma grande influência existe no valor da falta de paralelismo e no valor do desvio de colocação na posição de trabalho dos dispositivos de alta pressão, em relação ao eixo da prensa.

O desvio, por exemplo de 2 mm durante a operação, provoca mudanças da posição da mesa móvel juntamente com a parte inferior do dispositivo em relação a parte superior, figura 2. É necessário manter a colocação do dispositivo com precisão de até 0,7 mm em relação ao eixo da prensa.

Os resultados obtidos com a utilização do mecanismo especial é apresentado na figura 3. Variando a diferença de paralelismo de 0 até 1 mm, foram registrados os números de explosões durante o processamento. Foi determinado que o valor admissível do não paralelismo não pode superar a grandeza de 0,2 a 0,25 mm por 1000 mm de comprimento, pois iniciam-se as explosões durante a manutenção da alta pressão e temperatura que, como já foi citado, diminui a vida útil do dispositivo.

Levando-se em conta a deformabilidade real da estrutura da prensa, o valor citado da falta de paralelismo deve ser diminuído em 2 vezes para garantir o andamento estável do processo.



**Figura 3.** Influência da diferença de paralelismo das superfícies de trabalho na quantidade de aparecimento das explosões: - ● durante a elevação da pressão, ○ - durante a diminuição da pressão, ■ - durante a manutenção sob pressão e temperatura

A influência do deslocamento da parte inferior do dispositivo, em relação a parte superior, inicia-se a partir de 0,5 mm. Foi registrado que acima deste valor a vida útil do dispositivo começa a cair e, para o deslocamento de 1,2 mm, diminui em 3 vezes. Por isso, as partes superior e inferior do dispositivo de alta pressão devem estar soltas antes do início da compressão na prensa e centralizadas através da cápsula.

As prensas especiais de modelos D0138B e D0044, de capacidade de 630 e 2500 Ton, instaladas na Universidade Estadual do Norte Fluminense (Campos dos Goytacazes - RJ), foram fabricadas considerando-se os resultados obtidos e, por isso elas não apresentam as desvantagens das prensas comuns.

ressaltar a mudança da posição do material que forma a gaxeta e que influi no aparecimento da falta de paralelismo elevado.

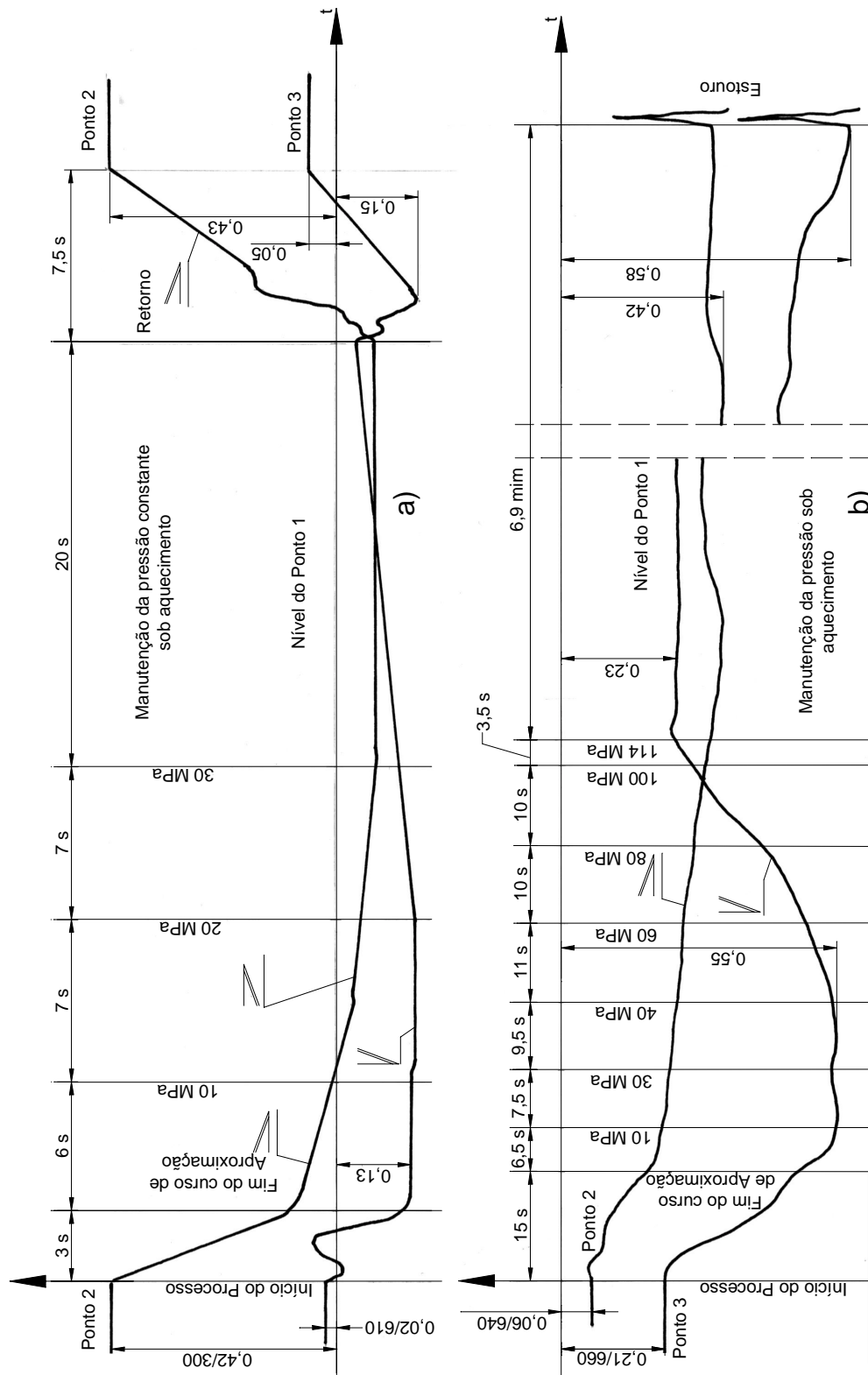




Figura 2 - Gravação dos valores máximos do não paralelismo das prensas. (a) Modelo DA0040; (b) D0043.  Posição da mesa móvel em relação ao ponto 1 no sentido da esquerda para direita;  Posição da mesa móvel em relação ao ponto 1 da frente para trás.

bucha 21 serve para a instalação, no mesmo eixo, da bigorna 2 com o apoio 7. Com este mecanismo foram efetuados 550 carregamentos. Foram registradas explosões nas etapas de aumento da pressão, manutenção da pressão e temperatura e da redução da pressão no cilindro principal. O deslocamento da parte inferior do dispositivo, em relação ao superior, foi feito até 1,2 mm, refazendo o experimento a cada 0,2 mm. Desta forma foram efetuados 300 carregamentos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

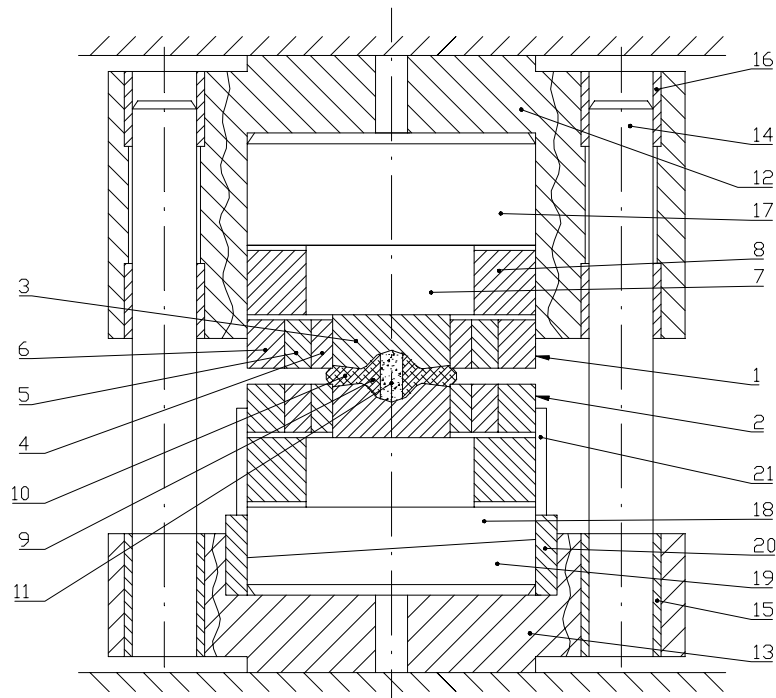
Os resultados da medição do paralelismo entre as superfícies dos blocos de apoio das prensas industriais são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados da medição da diferença de paralelismo entre as superfícies de apoio.

Prensa modelo DA0040 com 8 posições								
Número de Experimentos	Posição da mesa rotativa	Direção	Posição inicial (mm/1000mm)	Posição ao conseguir a pressão de trabalho	Posição antes da diminuição da pressão	Posição final	Observações	Excentricidade
3	1	X Y	1,2-1,36 0,05-0,06	0,25-0,29 0,26-0,32	0,4-0,48 0,75-0,86	1,3-1,4 0,08	A quantidade de produtos diminui em 1,3 vezes	0,8
15	5	X Y	1,25-1,32 0,2-0,4	0,26-0,3 0,32-0,39	0,82-0,86 0,36-0,49	1,1-1,2 0,3-0,4	Nesta posição da mesa rotativa há 8 explosões durante a diminuição da pressão	1,6
33	8	X Y	0,8-1,0 0,4-0,44	1,2-1,3 0-0,1	1,4-1,5 0,2-0,5	0,7-1,1 0,3-0,5	6 explosões durante a manutenção da pressão e temperatura	1,4
Prensa modelo D0043 com 2 posições								
5	1	X Y	0,31-0,32 0,12-0,2	1,02-1,4 0,48-0,56	0,84-0,9 0,8-1,2	0,5-0,6 0,2-0,3	Há 2 explosões durante a manutenção da pressão e temperatura	1,2
12	2	X Y	0,4-0,63 0,41-0,5	0,270,4 0,1-0,28	0,22-0,3 0,12-0,26	0,58 0,37	Diminuição da produtividade em 1,2 vezes com 3 explosões	0,9
23	1	X Y	0,31-0,42 0,2-0,3	1,3-1,4 0,4-0,52	0,9-0,96 0,13-1,4	0,2-0,4 0,1-0,3	Há 5 explosões durante a manutenção da pressão e temperatura	1,1

A análise dos resultados obtidos mostra que não existe uma estabilidade do paralelismo das superfícies de trabalho para todos os tipos comuns de prensas industriais (figura 2). Por isso, o número de explosões é bastante alto e, em alguns casos, não são geradas dentro da câmara de compressão as condições necessárias para o processo de síntese, conforme pode ser visto na tabela 1. Deve-se notar que a posição da mesa móvel das prensas, durante a manutenção da pressão e da temperatura, é modificada somente após o aquecimento ser ligado, figura 2. Junto com a influência da ligação da bomba de alta pressão é necessário

modelo D0043 de força 2000 Ton. Todas as prensas tem guias curtas de mesa móvel. O estudo foi realizado sob condições industriais nas empresas “Ilhitch” (São Petersburgo – Rússia) e “Ferramenta Adiamantada”(Poltava – Ucrânia). As medições foram executadas nas prensas com medidores de curso da marca VA 60HBM (*Hottinger Baldwin Messtechik*, Alemanha), com precisão  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ . Os medidores foram instalados em 3 pontos dentro da prensa, da frente para trás (Y) e da esquerda para a direita (X). Durante o processo de síntese foram medidos os deslocamentos dos pontos 2 e 3 em relação ao ponto principal 1, os desvios dos 2 e 3 foram então registrados. Foram realizados 68 experimentos, sendo 38 na prensa DA0040 e 30 na prensa D0043. A precisão da colocação do dispositivo, em relação ao eixo da prensa, foi medida através de instrumentação comum utilizando-se réguas e paquímetros.



**Figura 1.** Mecanismo especial com dispositivo de alta pressão tipo bigorna com concavidade utilizado para o estudo da influência do não paralelismo das superfícies de apoio das prensas.

Para a determinação dos valores admissíveis da falta de paralelismo entre as superfícies de trabalho durante o carregamento, foi projetado e fabricado um mecanismo especial que possibilitou a obtenção de uma grandeza da falta de paralelismo, a qual não é influenciada pelas superfícies dos blocos da prensa. Este mecanismo é apresentado na figura 1, ele inclui os blocos superior 12 e inferior 13 ligados através de quatro guias cilíndricas 14, de tal forma que os orifícios para a instalação das bigornas 1 e 2 são coaxiais. As extremidades inferiores das guias 14 são fixas e imóveis no bloco 13 através de buchas isolantes 15; as extremidades superiores das colunas 14 tem buchas como guia no bloco superior 12. No orifício central do bloco 12 são instalados coaxialmente o apoio 17, o bloco de apoio 7 e a bigorna 1. No orifício central do bloco 13 são instalados duas partes do apoio inferior 18 e 19 e também o bloco de apoio 7 e a bigorna 2. A superfície de contato entre as partes 18 e 19 é feita com a inclinação correspondente a diferença de paralelismo, 1mm para 1000 mm de comprimento. Rotacionando a parte superior 18, em relação à parte inferior 19, é possível obter a diferença de paralelismo de 0 à 1 mm por comprimento de 1000mm. Ambas as partes, 18 e 19, podem ser rotacionadas, em relação ao eixo do dispositivo, por meio do anel excêntrico 20 que permite o deslocamento paralelo do eixo da bigorna 2 em relação ao eixo da bigorna 1. A

na gaxeta pode superar a pressão dentro da câmara de compressão de 1,2 a 1,5 vezes (Gerasimovitch, 1982). A função da gaxeta é ampla, possibilitado tanto a geração do valor necessário da alta pressão na câmara de compressão, mantendo-a constante, quanto aumentar a vida útil das partes mais carregadas do dispositivo, em função da criação do estado de compressão multilateral na bigorna (Gerasimovitch, 1975).

Qualquer desvio das propriedades mecânicas, físicas ou do coeficiente de atrito do material da cápsula, nas condições de aquecimento e carregamento durante o processo, pode provocar explosões, ou estouros (“*blow out*”), que ocorrem durante o aumento da pressão e da temperatura ou durante a redução da pressão. A situação mais insatisfatória é aquela em que a explosão ocorre durante a manutenção da pressão e da temperatura, neste caso criam-se as condições mais severas de carregamento na bigorna. É necessário mencionar que a diminuição da quantidade de explosões influi positivamente, tanto na vida útil do dispositivo quanto na produtividade do processo. No caso da utilização do dispositivo “*belt*”, qualquer explosão está relacionado com uma enorme perda financeira, portanto, para este dispositivo, utilizam-se meios complementares muito sérios para evitar as explosões (Ueda, 1991).

No caso da aplicação das bigornas com concavidade central, as explosões influem de maneira menos catastrófica, em relação à questão financeira, mas somente até certo limite. O ideal é evitar a explosão, mas na prática industrial dificilmente este objetivo é alcançado.

Muitos pesquisadores tentam definir quais as condições que mais influem no aparecimento e na quantidade de explosões (Novikov *et al*, 1986). Alguns imaginam serem as propriedades mecânicas do material da cápsula (Novikov *et al*, 1986); outros analisam os desvios das dimensões tanto da cápsula quanto da mistura reativa; existem ainda aqueles que afirmam serem as condições de carregamento nas prensas (Sadkov *et al*, 1976) as responsáveis pelas explosões. Ainda não foi encontrada uma resposta definitiva para essa questão, mas se o material e as dimensões da cápsula forem escolhidas adequadamente, resta então determinar a influência das condições de carregamento do dispositivo de alta pressão na prensa.

Do ponto de vista dos autores, as condições de carregamento são determinadas da seguinte forma:

- Falta de paralelismo entre as superfícies dos blocos da prensa
- Excentricidade do dispositivo de alta pressão em relação ao eixo da prensa, ocasionada durante a sua colocação.
- Deformação da estrutura da prensa.
- Velocidade da carregamento.
- Variação da pressão de trabalho da prensa durante a manutenção do dispositivo sob alta pressão e alta temperatura
- Velocidade de redução da pressão no fim do trabalho

Para a otimização de cada um destes itens é necessário executar vários carregamentos e criar um sistema para análise estatística e registro de todos os dados do processo.

Assim, neste trabalho, é empreendida a primeira tentativa de analisar a influência da precisão do sistema “Prensa-Dispositivo” de alta pressão no processo de geração da alta pressão.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Para o esclarecimento das possíveis causas das explosões ocorridos nos dispositivos de alta pressão utilizados na indústria, foi realizada uma série de medições, verificando a falta de paralelismo das superfícies de trabalho e a precisão de instalação do dispositivo no eixo da prensa. Foram escolhidos dois tipos de prensas – modelo DA0040, com força de 1000 Ton e o

# INFLUÊNCIA DA PRECISÃO DA PRENSA NAS CONDIÇÕES DE GERAÇÃO DE ALTAS PRESSÕES DURANTE A SÍNTESE 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.**

Neste trabalho foi estudada a influência do paralelismo das superfícies de trabalho dos blocos de apoio das prensas hidráulicas especiais para a produção de materiais superduros e da excentricidade da colocação do dispositivo na prensa durante o processo de síntese. Para realização dos estudos foram desenvolvidas matrizes especiais, possibilitando assim a mudança do paralelismo, dos aparelhos e da metodologia de medição da posição dos dispositivos na prensa e do nível da pressão no cilindro principal. Com base nos resultados obtidos foram definidas as exigências da precisão para a prensa e para o dispositivo. Portanto, o não paralelismo das superfícies de trabalho não podem ultrapassar o valor de 0,15 mm/m, o qual deve permanecer constante durante toda a operação. A excentricidade pode variar entre 0 a 0,7 mm.

**Palavras chave:** Alta Pressão, Prensa, Materiais Superduros.

## **1. INTRODUÇÃO**

Para a produção de materiais superduros tais como o diamante sintético e o nitreto cúbico de boro são utilizados dispositivos de alta pressão capazes de gerar altas pressões da ordem 4,5 GPa a 8 GPa e altas temperaturas entre 1200 °C a 2000 °C.

Existem muitos tipos de dispositivos de alta pressão, mas na indústria são aplicados basicamente dois tipos: o “*belt*” e o “bigornas com concavidades” (Bobrovnitchii, 1982; Casanova *et al*, 1994), este último é apresentado na figura 1. Em geral, o dispositivo do tipo bigorna com concavidade é constituído por duas partes iguais 1 e 2, compostas pela bigorna 3 e pelos anéis de apoio 4, 5 e 6. Cada bigorna 3 está em contato com o disco 7, o qual é apoiado pelo anel 8. Entre as superfícies de trabalho das bigornas deforma-se a cápsula de calcita 9, formando a gaxeta (vedação) 10. Dentro da cápsula coloca-se a mistura reativa ou amostra tratada 11.

O princípio de funcionamento de todos os dispositivos é quase o mesmo. Para a geração da alta pressão são utilizados os meios sólidos (Spain *et al*, 1980), os quais servem também como isolantes termoeletrônicos. Esses meios são feitos na forma da câmara de compressão. Para o “*belt*” o meio comprimível tem a forma de cilindro, e para o dispositivo tipo bigorna esse formato é biconvexo. Durante a geração da alta pressão forma-se a gaxeta, de material sólido deformado. Essa gaxeta executa a função não só de isolante mas também de fechamento hermético da câmara de compressão, possibilitando assim a manutenção da alta pressão dentro da mesma. Para isso a gaxeta apresenta uma espessura fina. A pressão gerada