

PARTICULARIDADES EN EL DESARROLLO DE DISEÑOS DE PRENSAS HIDRÁULICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES SUPERDUROS

Guerold Seerguevitch Bobrovitchii¹

Alan Monteiro Ramalho²

João Jose de Assis Rangel³

Resumen

Materiales superduros normalmente son fabricados bajo altas presiones, en un intervalo de 4,5 a 8,0 GPa, y bajo temperaturas superiores a los 1200°C. La utilización de prensas hidráulicas convencionales para este objetivo presenta grandes desventajas ya que la baja rigidez de la estructura dificulta la obtención de altas presiones. Se hace, en el presente trabajo, un análisis de los aspectos específicos relacionados con el diseño y fabricación de prensas de este tipo. Estos aspectos están relacionados con cuestiones técnicas que permiten la concentración de fuerzas en pequeñas áreas de los bloques de apoyo. Aparte, otros requisitos son exigidos: pequeños cursos de operación, paralelismo con nivel grande de precisión entre las superficies de trabajo de los bloques de apoyo, y una gran estabilidad para soportar la elevada presión de trabajo durante prolongados períodos de tiempo. Esas exigencias condicionan el desarrollo de prensas especiales con estructura de multielementos previamente tensionados por enrollamiento de cintas de acero.

Palabras clave: Alta presión; Prensa hidráulica; Materiales superduros.

PARTICULARITIES IN THE DEVELOPMENT OF DESIGNS OF HYDRAULIC PRESSES FOR THE PRODUCTION OF SUPERHARD MATERIALS

Abstract

Superhard materials are usually produced under high pressures, in interval from 4.5 to 8.0 GPa and under temperatures higher than 1200°C. The use of conventional hydraulic presses for this aim presents great disadvantages since the low rigidity of the structure turns the acquisition of high pressure difficult. This work presents an analysis of the specific aspects related to the design and production of this kind of presses. Those aspects are related to technical questions that allow the concentration of forces in small areas of the support blocks. Moreover, other requirements are demanded: small movements of operation, parallelism with high level of accuracy among the working surfaces of the support blocks and a great stability to withstand the high pressure of work during long periods of time. Those demands guide the development of special presses with multielements structure previously tensioned by wrapping of steel strapping.

Keywords: High pressure; Hydraulic press; Superhard materials.

I INTRODUCCIÓN

Una tendencia observada en el desarrollo de procesos de transformación mecánica es el aumento de los esfuerzos que actúan sobre la pieza a ser transformada. Es un caso típico que ha estado sucediendo en lo que se refiere a la implantación de las tecnologías de obtención de materiales superduros.

Se sabe que materiales superduros, como el diamante sintético y el nitruro cúbico de Boro, son comercialmente producidos bajo altas presiones en el intervalo de 4,5 a 8,0 GPa, y entre temperaturas que varían entre 1200°C y 2000°C [1]. Esos parámetros de operación son generados en los llamados Dispositivos de Alta Presión.

¹Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – IFF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PEP, Universidade Candido Mendes – UCAM, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: joao@ucam-campos.br

(DAP). Las industrias que producen comercialmente los materiales superduros utilizan tres tipos de DAP [2]: Belt, “yunque” con concavidad y multipistones. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas, pero existen algunas particularidades en común, tales como:

- Concentración de la fuerza en una pequeña área de los DAP, como condición necesaria para la generación de altas presiones requeridas para el proceso.
- Dimensiones relativamente pequeñas de los DAP.
- Pequeños desplazamientos durante la operación de los elementos que componen los DAP.
- Sensibilidad y perturbaciones relativas en las posiciones de los DAP durante las operaciones de generación y mantenimiento de la elevada presión.
- Gran estabilidad dimensional para soportar y mantener la presión alta durante mucho tiempo.
- Control sobre la velocidad de reducción de la presión durante la etapa final de la operación, de forma que se evite la salida del material del medio comprimible hacia fuera del DAP.

Todos los tipos de DAP normalmente funcionan acoplados a las prensas hidráulicas, quedando, por lo tanto, condicionados a la capacidad, modelo, peso y precisión de las mismas.

En la operación del sistema “Prensa-DAP”, hay que tener en cuenta que las superficies de contacto del DAP con la prensa tienen un área mucho menor que el de la estructura de la prensa. De este modo, en el diseño del sistema, es necesario analizar cuidadosamente todos los requisitos exigidos por el DAP, así como también los de la tecnología de obtención del producto. Uno de los puntos relevantes del diseño es escoger el sistema más adecuado para la construcción de la prensa especial.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Análisis Comparativo de las Construcciones Usadas en las Prensas Hidráulicas de Pequeño Curso

Las prensas construidas antiguamente para la producción de materiales superduros eran del tipo que convencionalmente son utilizadas para el forjamiento y estampado. El uso de estas prensas ocasionaba una diferencia desproporcionada entre las dimensiones del DAP y de la estructura.

Las causas más importantes de este hecho son las grandes desigualdades entre las propiedades de los materiales utilizados en el DAP y las piezas de la propia prensa. En los DAP, se utilizan aceros especiales y aleaciones de alta resistencia, con límite de resistencia de hasta 2500 MPa [3], y los elementos de la prensa son fabricados comúnmente

con aceros estructurales, presentando tensiones admisibles entre 60 y 90 MPa. Además, en las estructuras convencionales siempre aparecen concentradores de tensión. Esto exige la disminución de las tensiones máximas admisibles del diseño. Por lo tanto, es interesante analizar la fabricación de las prensas bajo este aspecto.

En la Figura 1a, se muestra una prensa con estructura no-tensionada de dos columnas, con cilindro de trabajo en la posición inferior. La viga inferior, que es también el cuerpo del cilindro, y la viga superior poseen salientes donde son encajadas las columnas, hechas de planchas gruesas de acero estructural. Esta concepción de la estructura presenta una gran desventaja: altas tensiones localizadas en la junta del encaje entre la columna y las vigas [4]. Con esa construcción, fueron elaboradas prensas para generar fuerzas de hasta 3500 Ton. Existe otra alternativa, como mostrada en la Figura 1b [5], pero presenta desventajas relacionadas con la flexión de las columnas en las regiones de las guías.

La Figura 1c presenta una estructura entera fundida de dos columnas y no tiene la junta de encaje entre las columnas y las vigas. Es compacta y posee una elevada rigidez. La utilización de estas estructuras está limitada por las tensiones actuantes y las propiedades del acero fundido. Las prensas de este tipo de estructura no toleran esfuerzos superiores a 4000 Ton. [6].

Conforme a la Figura 1d, la estructura de la prensa es formada por la unión de placas laminadas. Dentro de la estructura, son colocados sectores semicilíndricos, que funcionan como viga superior e inferior. Este formato de vigas posibilita una disminución de los concentradores de tensión en las placas, con todo, la disminución de la rigidez transversal no puede ser evitada. Es posible la utilización de esta construcción para prensas con capacidad de hasta 1000 Ton. [7].

Otro tipo de estructura usando placas laminadas es mostrada en la Figura 1e. Está formada por columnas y vigas hechas de placas unidas en una junta entera, y por tornillos cilíndricos especiales. Esta estructura permite la utilización de aceros de alta resistencia [8].

En la Figura 1f, está representada una prensa con estructura pretensionada, compuesta por viga inferior y superior, dos columnas y tornillos presos con tuercas. El pretensionamiento de las tuercas disminuye la amplitud de las tensiones aplicadas en ellas durante la carga de la prensa, permitiendo el aumento de la resistencia a la fatiga [9].

La prensa con estructura tubular (Figura 1g) es muy simple y compacta [10], pues el cilindro hace parte de su estructura. Este tipo de prensa se fabrica para fuerzas de hasta 30000 Ton.

La Figura 1h representa una prensa con estructura pretensionada por medio de enrollamiento de cintas de acero de alta resistencia. La estructura incluye dos columnas y dos semicilindros unidos por el enrollamiento de la cinta de acero de sección rectangular. Debido a la falta de concentradores de tensión, esta construcción posee una elevada resistencia a la fatiga. La combinación de esta estructura con el cilindro

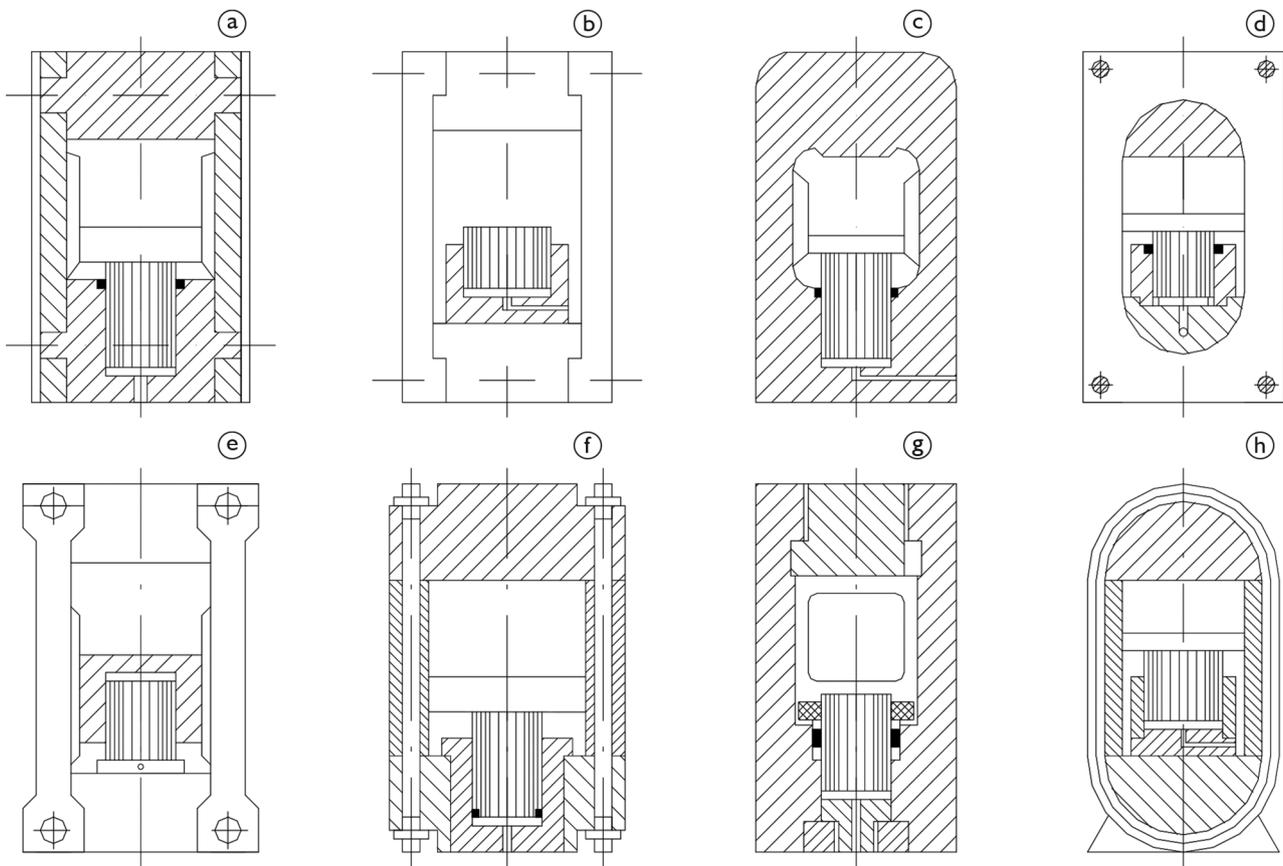


Figura 1. Estructuras de prensas hidráulicas de pequeño curso con los cilindros principales.

compuesto permite fabricar prensas con fuerzas de hasta 30000 Ton con dimensiones pequeñas [11, 12].

El análisis de estas estructuras utilizadas para la fabricación de materiales superduros, considerando todas las particularidades aquí citadas, permite concluir que:

- En las construcciones mostradas en la Figura 1a-e, la dirección de la viga móvil no garantiza precisión, pues el paralelismo de las superficies de trabajo de las vigas depende de su rigidez y de las deformaciones en las columnas y en el cilindro. Un aumento de la rigidez en la estructura y en la longitud del cilindro conduce a una construcción más pesada y robusta.
- En las estructuras mostradas en la Figura 1a-c, f-h, la distancia entre las columnas depende del diámetro externo del cilindro que, a su vez, depende de la presión utilizada.
- La altura entre las superficies de trabajo de la prensa depende de la empaquetadura de los cilindros de trabajo.

En las estructuras citadas, no fue representado el mecanismo de instalación del DAP en el interior de la prensa, por lo tanto, es difícil evaluar el tipo de mecanismo que influencia entre las columnas de la estructura, excepto

en la estructura mostrada en la Figura 1g, donde el espacio de trabajo es siempre pequeño.

Por eso, para la construcción de una prensa optimizada, es necesario considerar diversas particularidades, incluyendo la construcción en el cilindro principal.

2.2 Medios para Disminuir el Peso y las Dimensiones de las Prensas Hidráulicas Especiales

Pueden proponerse los siguientes medios para disminuir las dimensiones sin pérdida de rigidez y resistencia de la prensa, manteniendo la presión necesaria:

- Optimizar la construcción del cilindro de trabajo.
- Optimizar la presión necesaria para obtener una determinada fuerza.
- Tener guías que garanticen un gran paralelismo entre las superficies de apoyo durante la aproximación y la carga.
- Elaborar una estructura que permita la disminución de las dimensiones sin pérdida de la resistencia, principalmente la fatiga.

Analizando las estructuras de los cilindros presentados en la Figura 2, se nota que el cilindro con corona (Figura 2a) no es recomendable para las prensas especiales. En este tipo de construcción, no se puede aplicar una presión superior a 32 MPa, debido a la presencia de concentradores en el fondo del cilindro y en la corona [9].

La estructura mostrada en la Figura 2b permite la disminución de las dimensiones del cilindro bajo la misma presión del caso anterior. La ausencia de la corona posibilita el aumento de las tensiones admisibles. A partir de esa estructura, surge el cilindro sin fondo (Figura 2c). En este tipo de estructura, sólo aparecen, prácticamente, tensiones radiales y tangenciales, que tornan más fácil la fabricación del cilindro; pero la construcción de la empaquetadura deja la altura y el diámetro del cilindro en las mismas dimensiones.

La empaquetadura del cilindro puede ser transferida para el émbolo, Figura 2d-f [13], y el cuerpo del cilindro puede estar compuesto por dos anillos (o bocinas) encajados uno dentro del otro, Figura 2e, o enrollado por cintas de acero de alta resistencia, Figura 2f.

El análisis anterior demuestra que las estructuras más recientes ofrecen ventajas para la disminución del diámetro del cilindro y de su altura. Sin embargo, son encontradas algunas dificultades relativas al endurecimiento en las superficies internas del cilindro, a pesar de que en la industria se encuentran desarrolladas algunas tecnologías para el endurecimiento de la superficie de trabajo. La Figura 2e muestra la estructura.

La grandeza de la presión influye bastante en la disminución de las dimensiones. Aumentando el valor de la presión y utilizando aceros resistentes, es posible obtener la optimización de las dimensiones para cada tipo de estructura. La presión que garantiza las dimensiones mínimas del cilindro de trabajo, con “n” anillos encajados unos en otros y bajo un determinado esfuerzo, es determinada por la Ecuación 1, donde $[\sigma]$ es la tensión admisible para el material de los elementos del cilindro [14]:

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

Esta ecuación muestra la posibilidad de variar el valor de la presión para cada tipo de cilindro de trabajo, considerando que existan límites para el aumento de la presión impuesta por el sistema hidráulico, principalmente en las bombas, y en el uso continuo de alta presión en los procesos.

Para optimizar el direccionamiento de la viga móvil, o émbolo, con el objetivo de obtener el paralelismo deseado entre las superficies de trabajo, existe la posibilidad de utilizar dos métodos: o regular las guías por medio de cilindros complementarios o aumentar la distancia entre las guías. Este último método es más fácil de ser empleado, utilizando las columnas complementarias, cuyas extremidades quedan distantes unas de otras y fijadas en la viga móvil. Es posible

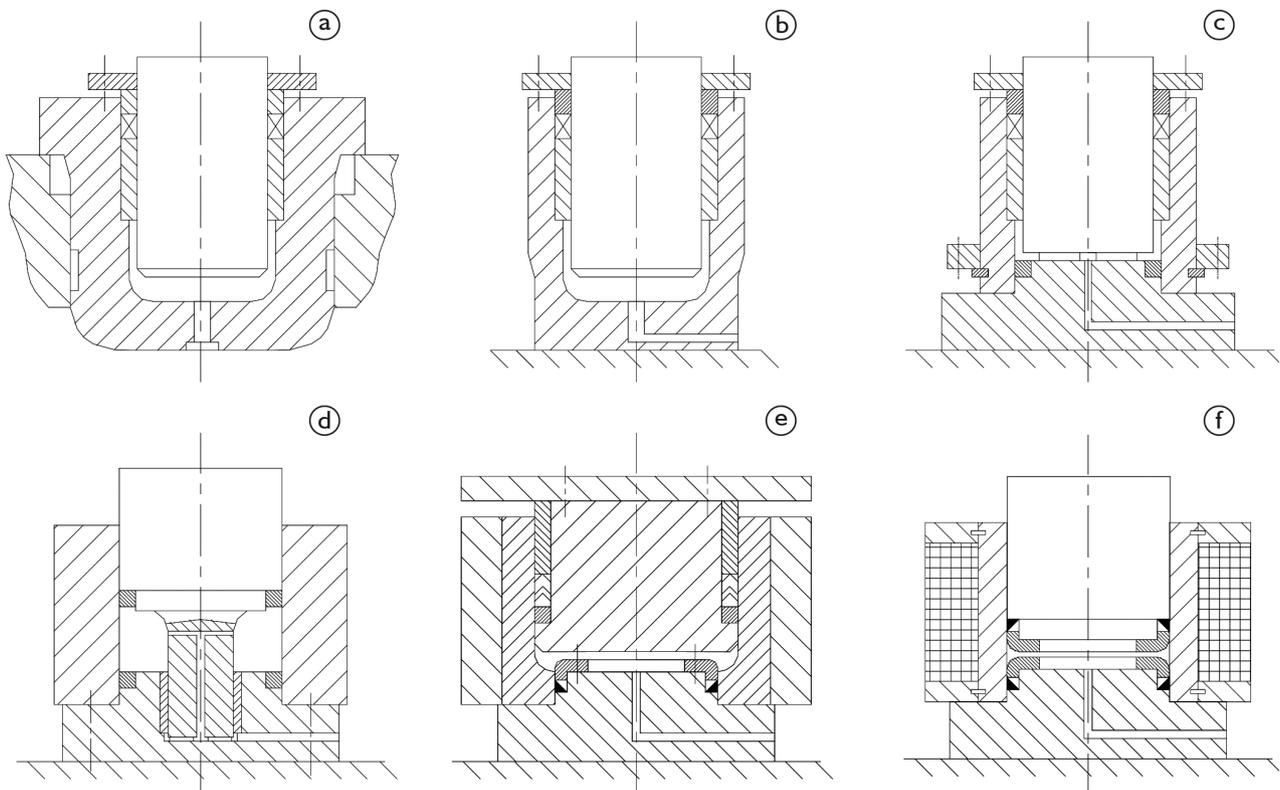


Figura 2. Estructuras actuales de cilindros principales de las prensas de pequeño curso.

aprovechar estas columnas como émbolos de los cilindros de retorno de la viga móvil [13].

El alto nivel de paralelismo entre las superficies de trabajo de los bloques de apoyo durante todo el proceso, la precisión de la colocación del DAP en el eje de la prensa, la velocidad de elevación, el mantenimiento de la presión con precisión en hasta 1,5%, la reducción de la presión dentro del cilindro y la disminución de la masa y las dimensiones exigen la elaboración de una prensa especial con características determinadas.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Analizando todas las características de las prensas descritas anteriormente, se observa que, inicialmente, es necesario eliminar sus desventajas en relación con las técnicas que serán aplicadas. Cada tipo de técnica utilizada para obtener materiales superduros exige de diferentes métodos, por ejemplo, la utilización de dispositivos "belt" para cortos periodos de síntesis es económicamente inviable. Por eso su mecanismo de instalación no puede tener más de dos posiciones. De otro lado, utilizando el DAP de tipo yunque puede ser aplicado para síntesis de corta duración, pudiendo utilizar mecanismos de más de dos posiciones. Por lo tanto, elegir la distancia entre las columnas va a depender de tres factores: de las dimensiones del DAP, del tipo de mecanismo de instalación, y de la presión del cilindro de trabajo. Teniendo en cuenta que para las técnicas de síntesis rápida es necesario refrigerar el DAP y hacer su mantenimiento, fue adoptado para la prensa de 630 Ton el mecanismo rotativo con seis posiciones, que exigen la distancia de 600 mm entre las columnas. Para la prensa de 2500 Ton, fue usada la estructura de dos posiciones del tipo "etagère" con elevador para el cambio de posición del DAP.

En la prensa de fuerza 5000 Ton, se utiliza el mecanismo de dos brazos que entran con el DAP alternadamente en la prensa. Esta estructura exige una distancia, entre las columnas, de 1160 mm.

Conociendo las dimensiones entre las columnas, es necesario seleccionar las dimensiones externas de los cilindros de trabajo y el esquema de la construcción de la estructura. Para las prensas de 630 y 2500 Ton, se ha optado por una estructura que incluye el cuerpo del cilindro. Este cuerpo es preso entre las columnas y las vigas fijas, inferior y superior. La pared del cilindro sirve como parte de las columnas. El valor de la presión de trabajo es determinado por la distancia entre las columnas y tiene un valor de 32 MPa para la prensa de 630 Ton, y de 125 MPa para la de 2500 Ton.

En la prensa de 5000 Ton de fuerza, la distancia entre las columnas permite la instalación del cilindro con apoyo en la viga inferior y la utilización, si se desea, del DAP tipo "belt". La presión de trabajo es determinada por esa distancia y por el material utilizado en el cilindro, alrededor de 80 MPa.

Las cuatro columnas de las guías son utilizadas para la aproximación rápida y para el retorno de la viga móvil en la prensa de 630 Ton. En la prensa de 2500 Ton, son usadas solamente para el retorno y, en la prensa de 5000 Ton., los cilindros de retorno fueron colocados separadamente de las guías.

La estructura de la prensa fue pretensionada por medio de enrollamientos de cintas de acero con límite de fluencia superior a 1800 MPa. El cálculo fue realizado suponiendo que la estructura de la prensa sufre vibraciones, las cuales pueden ocurrir de vez en cuando, debido a las explosiones de las rebabas en el DAP [15].

Las características técnicas de las prensas elaboradas son presentadas en la Tabla I. Comparando los pesos y

Tabla I. Características técnicas de las prensas construidas

Parámetro	Modelo		
	D00138B	D0044	D0047P
Esfuerzo nominal (MN)	6,3	25	50
Altura de la abertura del espacio de trabajo (mm)	200	420	1100
Distancia entre las columnas (mm)	600	600	1160
Curso máximo (mm)	50	75	200
Presión en el cilindro de trabajo (MPa)	32	125	80
Tiempo de operación:			
• Aumento de la presión (s)	3/5	60/360	300/1500
• Exposición bajo la presión y temperatura (min)	0,1-20	0,1-60	3/3000
• Reducción de la presión (s)	5-20	15-80	240/4000
Precisión en la presión durante la exposición (%)	1,5	1,5	0,8
Capacidad máxima de calentamiento (KVA)	10	20	40
Medidas de la instalación (mm):			
- Ancho	2200	2500	10375
- Espesura	2380	4100	6825
- Altura	2230	2585	3055
Peso de la prensa (Toneladas)	4,2	10,7	37
Peso de la instalación (Toneladas)	6	16	54

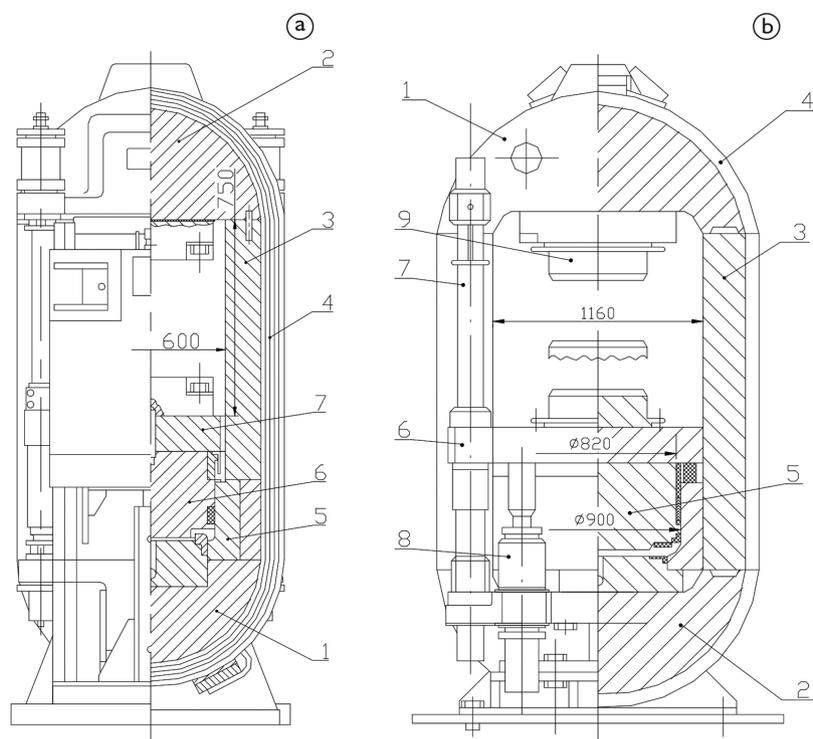


Figura 3. Prensas hidráulicas semi-automáticas para la producción de materiales superduros con 2500 Ton. (a) y 5000 Ton. (b) de fuerza.

las dimensiones de estas prensas con las construcciones ofrecidas en el mercado, se puede decir que hay algún tipo de economía y ventajas en su producción, y principalmente en el funcionamiento.

Las construcciones de las prensas de 2500 y 5000 Ton. de fuerza son mostradas en las Figura 3a, b. La estructura de la prensa de 2500 Ton incluye dos vigas (1 y 2) de forma semicilíndricas, dos columnas (3), un cuerpo cilíndrico (5), un enrollamiento de cinta (4) que une todos los elementos de la estructura, y un émbolo (6) del cilindro de trabajo que está conectado a la viga móvil (7), en cuyos resaltes son fijados en las cuatro columnas cilíndricas y los extremos de las columnas entran en las perforaciones con precisión elevada. En el gráfico, no son mostrados los mecanismos complementarios, pues su descripción no hace parte de los objetivos de este trabajo. La prensa de 630 Ton. tiene la misma configuración de la prensa de 2500 Ton.

La estructura de la prensa de 5000 Ton. está compuesta también por las vigas 1 y 2, dos columnas (3) y un enrollamiento de cinta (4). El cilindro 5 con émbolo es instalado libremente entre la estructura con soporte en la viga inferior 2. La viga móvil 6 está acoplada con el émbolo y con cuatro columnas (7). Los dos cilindros de retorno 8 son instalados en diagonal y los pistones de los cilindros son ligados a la viga móvil 6. La transmisión hidráulica incluye una bomba especial, con capacidad de regular flexiblemente la presión durante la carga y la reducción de la presión conforme el programa deseado.

Actualmente, una prensa de 630 Ton. y otra de 2500 Ton. de fuerza están siendo instaladas en el Centro de

Ciencias y Tecnología de la Universidad Estadual do Norte Fluminense, en Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. Las pruebas en las prensas mostraron que ellas poseen rigidez bastante elevada. Por ejemplo, el paralelismo de las superficies de trabajo de las prensas no ultrapasan el valor de 0,12 mm. a cada 1000 mm. durante la aplicación de la fuerza nominal.

4 CONCLUSIONES

La construcción de una prensa pretensionada por enrollamiento de cinta de acero de alta resistencia permite disminuir las dimensiones de la prensa y aumentar su rigidez.

Se elaboraron métodos para el desarrollo de diseños de prensas especiales usadas en la fabricación de materiales superduros.

Ha sido diseñada y fabricada en serie una prensa compacta de 630 Ton. usada para la producción de polvos y policristalinos de diamante, y otros materiales superduros.

Fue diseñada y fabricada en serie una prensa de pequeñas dimensiones de 2500 Ton. usada para la producción de polvo de diamantes monocristalinos, conjugados y otros materiales superduros.

Fue desarrollado y ejecutado un diseño especial de una prensa universal de 5000 Ton., que puede ser utilizada para diversas técnicas, presentando flexibilidad en la regulación de la presión con alta precisión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (Capes), del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico

(CNPq) y el Estado de Río de Janeiro Fundación de Investigación Carlos Chagas Filho (FAPERJ) de apoyo financiero para esta investigación. También agradecen a María Marta García por su ayuda en la corrección del texto en Español.

REFERENCIAS

- 1 Bundy FP. Behavior of elemental carbon up to very high temperatures and pressures. In: High Pressure Science and Technology. Proceedings 11th International Conference AIRAPT. Kiev: Naukova Dumka; 1989. v. 1, p. 326-332.
- 2 Bobrovnichii GS. Dispositivos de super alta presión. Moscú: Znanie; 1982. 131 p. n. 5. Ruso.
- 3 Spain IL. Ultra high pressures apparatus and technology. New York: Marcel Drekker; 1980. 746 p. v. 1, n. J.
- 4 Klöckner-Wilhelmsburger. Hochdruck – Hochtemperatur Anlage KWG 30 MNP. Anebout: HT – 5.190 55.96. [S.l.]; 1996. Relatório Técnico. Ruso.
- 5 Cifali ML. Disposição da estrutura de prensas. Patente MU 7302409-0. 1995 Aug 1.
- 6 Sack & Kiesselbach Maschinen Fabrik GmbH. TI 86.06-01: Gelifere Pressen für das Hochdruck – Hochtemperatur – Verfahren. Hochdruckpresse Model EP. [S.l.]; 1996. Technische Information. Ruso.
- 7 George G. Advancing the state of the art sheet metal forming. Tooling and Product. 1967;(7):33-35.
- 8 Storozhev MV, Dobrinsky NS. Construcción de prensas hidráulicas de estampado para recorridos cortos. Revista Produção por Forja e Estampagem. 1976;(5):59-62. Ruso.
- 9 Golman LD, Rozano BV. Cálculo de la estructura de la prensa con columnas vacías e tuercas: prensas hidráulicas. Moscow: Mashgiz; 1963. p. 34-44. (Coletânea de obras do TSNIITMASH Moscú, 54). Ruso.
- 10 Novoselov VA. Prensa hidráulica pequeña con fuerza de 30000 Ton. Revista Produção por Forja e Estampagem. 1963;(2):62-65. Ruso.
- 11 Jonhson S. High press exerts heavy force. Iron Age. 1962;(5):55-56.
- 12 Ueda M, Okamoto H. Ultra-high pressures generating apparatus. Kobelco Technology Review. 1991;(12):37-42.
- 13 Bobrovnichii GS, Belovol VS. Nuevas prensas hidráulicas para la producción de materiales superduros: novedades y tecnologías de la industrialización de forja. Moscú: VNIIMETMASH; 1991. p. 15-24. Ruso.
- 14 Bobrovnichii GS, Ramalho AM. Determinação da pressão ótima nos cilindros de prensas e dispositivos hidráulicos. In: Anais do V Congresso de Engenharia Norte Nordeste; Fortaleza, Brazil. 1998. p. 572-579.
- 15 Bobrovnichii GS. Concerning press dynamics when instantaneous failure of sealing burr in high pressure unit takes place. In: High Pressure Science and Technology. Proceedings XI AIRAPT International Conference. Kiev: Naukova Dumka; 1989. v. 4, p. 91-96.

Recibido en: 14 Jul. 2015

Aceptado en: 20 Ago. 2015