

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA PRECISIÓN DEL CONJUNTO “PRENSA – DISPOSITIVO DE ALTA PRESIÓN” EN LAS CONDICIONES DE SÍNTESIS DE MATERIALES SUPERDUROS

Guerald Seerguevitch Bobrovitchii¹
João Jose de Assis Rangel²

Resumen

En este trabajo, fue estudiada la influencia del paralelismo de las superficies de trabajo de los bloques de apoyo de las prensas hidráulicas especiales para la producción de materiales superduros y de la excentricidad de la colocación de los dispositivos de alta presión en la prensa durante el proceso de síntesis. Para la realización de los estudios, fueron diseñadas matrices especiales, posibilitando así el cambio del paralelismo, de las herramientas y de la metodología de medición de la posición de los dispositivos en la prensa. Sobre la base de los resultados obtenidos, fueron definidas las exigencias de la precisión para la prensa y para el dispositivo. Por lo tanto, el no paralelismo de las superficies de trabajo no puede pasar del valor de 0,15 mm/m, el cual debe permanecer constante durante toda la operación. La excentricidad puede variar entre 0 y 0,7 mm.

Palabras clave: Alta presión; Prensa; Materiales; Superduros.

STUDY OF THE PRECISION INFLUENCE OF THE SET “PRESS-DEVICE OF HIGH PRESSURE” UNDER THE CONDITIONS OF SYNTHESIS OF SUPERHARD MATERIALS

Abstract

It was studied, in this work, the influence of the parallelism of the work surface of the support blocks of the special hydraulic presses for the production of superhard materials and of the eccentricity of the placing devices of high pressure in the press during the synthesis process. To perform the studies, special matrices were designed, enabling, then, the exchange of the parallelism, of the tools and of the methodology of measuring of the position of the press devices. Based on the results achieved, the precision requirements for the press and for the device were defined. Therefore, the non-parallelism of the work surface may not exceed the value of 0.15 mm/m, which should stay constant during all operation. The eccentricity may vary between 0 and 0.7 mm.

Keywords: High pressure; Press; Materials; Superhard.

1 INTRODUCCIÓN

Para la producción de materiales superduros, como el diamante sintético o el nitruro cúbico de Boro, son utilizados dispositivos de alta presión capaces de generar presiones del orden de 4,5 a 8,0 GPa, y temperaturas entre 1.200 °C y 2.000 °C.

Existen diversos tipos de dispositivos de alta presión, sin embargo, en la industria, son utilizados básicamente dos tipos: el “belt” y el “yunque con concavidades” [1-3], este último se muestra en la Figura 1. En general, el dispositivo

de tipo yunque con concavidad está constituido por dos partes iguales 1 y 2, compuestas por el yunque 3 y por los anillos de apoyo 4, 5 y 6. Cada yunque 3 está en contacto con el disco 7, el cual está apoyado por el anillo 8. Entre las superficies de trabajo de los yunques, se deforma la cápsula de calcita 9, formando la rebarba 10. Dentro de la cápsula, se coloca la mezcla reactiva o la muestra tratada 11.

El principio de funcionamiento de todos los dispositivos es casi el mismo. Para la generación de alta presión, son

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

²Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes Campos – UCAM-Campos, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: joao@ucam-campos.br



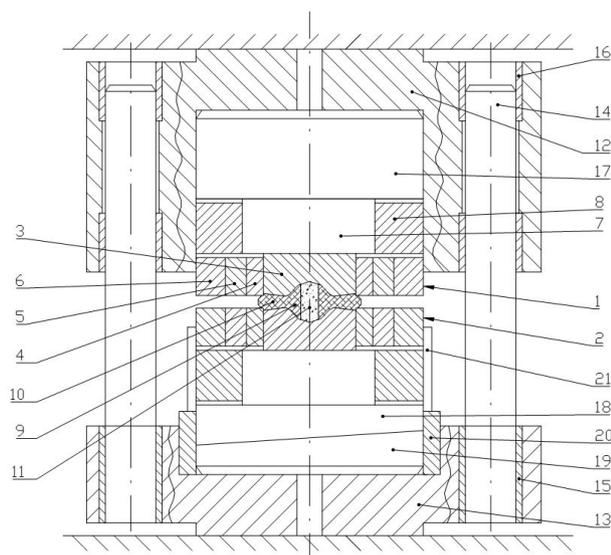


Figura 1. Mecanismo especial con dispositivo de alta presión tipo yunque con concavidad, utilizado en el estudio de la influencia del no paralelismo de las superficies de apoyo de la prensa.

utilizados los medios sólidos [4], los cuales sirven también como aislantes termoeléctricos. Esos medios son hechos en la cámara de compresión. Para el tipo “belt”, el medio comprimido tiene forma de cilindro, y para el dispositivo tipo yunque ese formato es biconvexo.

Durante la generación de la alta presión se forma la rebarba, de material sólido deformado. Esta rebarba tiene la función no sólo de aislante, sino también cumple la función de cerrado hermético de la cámara de compresión, posibilitando así el mantenimiento de la alta presión dentro de la misma. Para eso, la rebarba tiene que tener una espesura delgada. La presión generada en la rebarba puede superar la presión de la cámara de compresión de 1,2 a 1,5 veces [5].

La función de la rebarba es amplia, posibilitando la generación del valor necesario de la alta presión en la cámara de compresión, manteniéndola constante y aumentando la vida útil de las partes más sobrecargadas del dispositivo, en función de la creación del estado de compresión multilateral en el yunque [6].

Cualquier cambio en las propiedades mecánicas, físicas o del coeficiente de rozamiento del material de la cápsula, en las condiciones de calentamiento o carga durante el proceso, puede provocar explosiones, o rompimientos (“blow out”), que ocurren durante el aumento de la presión y la temperatura, o durante la reducción de la presión. La situación más insatisfactoria es aquella en que la explosión ocurre durante el mantenimiento de la presión y de la temperatura; en ese caso, se crean las condiciones más severas de carga en el yunque. Es necesario mencionar que la disminución de la cantidad de explosiones influye positivamente tanto en la vida útil del dispositivo cuanto en la productividad del proceso. En el caso de utilización del dispositivo “belt”, cualquier explosión está relacionada con

una enorme pérdida financiera, por eso, para ese dispositivo, son utilizados medios complementarios muy seguros para evitar las explosiones [7].

En el caso de la utilización de yunques con concavidad central, las explosiones influyen de manera menos catastrófica en cuanto a la cuestión financiera, pero solamente hasta cierto límite. Lo ideal es evitar las explosiones, pero, en la práctica industrial, ese objetivo es difícilmente alcanzado.

Muchos investigadores intentan definir cuáles son las condiciones que más influyen en el apareamiento y cantidad de explosiones [8]. Algunos imaginan que son las propiedades mecánicas del material de la cápsula [9], otros analizan los cambios en las dimensiones tanto de la cápsula cuanto de la mezcla reactiva; existen aún aquellos que afirman que son las condiciones de carga de las prensas [10] las responsables por las explosiones. Con relación a esto, aún no fue encontrada una respuesta definitiva para esa cuestión, pero, si el material y las dimensiones de la cápsula fuesen escogidas adecuadamente, resta entonces determinar la influencia de las condiciones de carga de los dispositivos de alta presión en la prensa.

Desde el punto de vista de los autores, las condiciones de carga son las siguientes:

- Falta de paralelismo entre las superficies de los bloques de apoyo de la prensa;
- Excentricidad aumentada en el dispositivo de alta presión en relación con el eje de la prensa, ocasionada durante la colocación;
- Deformación aumentada en la estructura de la prensa;
- Velocidad aumentada en la carga;
- Variación de precisión de la presión de trabajo de la prensa durante el mantenimiento de los parámetros de síntesis;
- Velocidad aumentada de reducción de la presión en el fin del proceso.

Para la optimización de cada uno de estos ítems, es necesario ejecutar varias cargas y crear un sistema para el análisis estadístico y registro de todos los datos del progreso.

Así, en este trabajo, es realizada la primera tentativa de analizar la influencia de la precisión del sistema “Prensa-Dispositivo de Alta Presión”, en el proceso de generación de alta presión.

2 PARTE EXPERIMENTAL

Para el esclarecimiento de las posibles causas de las explosiones ocurridas en los dispositivos de alta presión utilizados en la industria, fue realizada una serie de mediciones, verificando la falta de paralelismo de las superficies de trabajo y de la precisión en la instalación del dispositivo en el eje de la prensa. Fueron escogidos dos tipos de prensa – modelo

DA0040, con fuerza de 1000 Ton, y modelo D0043, con fuerza de 2000 Ton. Todas las prensas tienen guías cortas de mesa móvil. El estudio fue realizado en condiciones industriales en las empresas “Ilhitch” (San Petesburgo-Rusia) y “Herramienta Diamantada” (Poltava – Ucrania). Las mediciones fueron ejecutadas en las prensas con medidores de curso de la marca VA 60HBM (*Hottinger Baldwin Messtechnik*, Alemania), con precisión $\pm 0,5 \mu\text{m}$. Los medidores fueron instalados en 3 puntos dentro de la prensa, de adelante hacia atrás (Y), y de la izquierda para la derecha (X). Durante el proceso de síntesis, fueron medidos los desplazamientos de los puntos 2 y 3 con relación al punto principal 1; los desvíos de los puntos 2 y 3 fueron entonces registrados. Fueron realizadas 68 experiencias, siendo 38 de ellas en la prensa DA0040, y 30 en la D0043. La precisión de la colocación del dispositivo, en relación con el eje de la prensa fue medida a través de instrumentos comunes, utilizándose reglas y verniers.

Para determinar los valores admisibles con respecto a la falta de paralelismo entre las superficies de trabajo durante la carga, fue diseñado y fabricado un mecanismo especial, que permitió la obtención de una considerable falta de paralelismo, la cual no es influenciada por las superficies de los bloques de la prensa.

Se demuestra este mecanismo en la Figura 1. El incluye el bloque superior 12 y el inferior, 13, conectados a través de cuatro guías cilíndricas 14, de tal forma que los orificios para la instalación de los yunques 1 y 2 son coaxiales. Los extremos inferiores de las guías 14 son fijos e inmóviles en el bloque 13 mediante las bocinas aislantes 15; los extremos superiores de las columnas 14 tienen bocinas como guías en el bloque superior 12. En el orificio central del bloque

12, son instalados coaxialmente el apoyo 17, el bloque de apoyo 7, y el yunque 1. En el orificio central del bloque, son instalados dos partes de apoyo inferior 18 y 19, el bloque de apoyo 7, y el yunque 2. La superficie de contacto entre las partes 18 y 19 es hecha con una inclinación correspondiente a la diferencia de paralelismo, 1 mm, para 1000 mm de longitud. Rotando la parte superior 18, con relación a la parte inferior 19, es posible obtener la diferencia de paralelismo de 0 a 1 mm por longitud de 1000 mm. Ambas partes, 18 y 19, pueden ser rotadas, en relación con el eje del dispositivo por medio de un anillo excéntrico 20, que permite el desplazamiento paralelo del eje del yunque 2 con respecto al eje del yunque 1. La bocina 21 sirve para la instalación, en el mismo eje, del yunque 2 con el apoyo 7.

Con este mecanismo, fueron efectuadas 550 cargas. Se registraron explosiones en las etapas de aumento de la presión, mantenimiento de la presión y temperatura, y de la reducción de la presión en el cilindro principal. El desplazamiento de la parte inferior del dispositivo en relación con la parte superior fue hecho hasta 1,2 mm, rehaciendo el experimento a cada 0,2 mm. De esta forma, fueron efectuadas 300 cargas.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la medición del paralelismo entre las superficies de los bloques de apoyo de las prensas industriales son mostrados en la Tabla 1.

El análisis de los resultados obtenidos revela que no existe una estabilidad del paralelismo de las superficies de trabajo para todos los tipos comunes de prensas

Tabla 1. Resultados de la medición de la diferencia del paralelismo entre las superficies de apoyo

| Prensa modelo DA0040 con 8 posiciones | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|---|--|----------------|---|---------------|
| Número de Experimentos | Posición de la mesa giratoria | Dirección | Posición inicial (mm/1000mm) | Posición al conseguir la presión de trabajo | Posición antes de la reducción de la presión | Posición final | Observaciones | Excentricidad |
| 3 | 1 | X | 1,2-1,36 | 0,25-0,29 | 0,4-0,48 | 1,3-1,4 | Registro de 1 explosión | 0,8 |
| | | Y | 0,05-0,06 | 0,26-0,32 | 0,75-0,86 | 0,08 | | |
| 15 | 5 | X | 1,25-1,32 | 0,26-0,3 | 0,82-0,86 | 1,1-1,2 | 3 explosiones durante la reducción de la presión en esta posición de la mesa rotativa | 1,6 |
| | | Y | 0,2-0,4 | 0,32-0,39 | 0,36-0,49 | 0,3-0,4 | | |
| 33 | 8 | X | 0,8-1,0 | 1,2-1,3 | 1,4-1,5 | 0,7-1,1 | 4 explosiones durante el mantenimiento de la presión y temperatura | 1,4 |
| | | Y | 0,4-0,44 | 0-0,1 | 0,2-0,5 | 0,3-0,5 | | |
| Prensa modelo D0043 con 2 posiciones | | | | | | | | |
| 5 | 1 | X | 0,31-0,32 | 1,02-1,4 | 0,84-0,9 | 0,5-0,6 | 2 explosiones durante el mantenimiento de la presión y la temperatura | 1,2 |
| | | Y | 0,12-0,2 | 0,48-0,56 | 0,8-1,2 | 0,2-0,3 | | |
| 12 | 2 | X | 0,4-0,63 | 0,270,4 | 0,22-0,3 | 0,58 | Reducción de la productividad en 1,2 veces con 3 explosiones | 0,9 |
| | | Y | 0,41-0,5 | 0,1-0,28 | 0,12-0,26 | 0,37 | | |
| 23 | 1 | X | 0,31-0,42 | 1,3-1,4 | 0,9-0,96 | 0,2-0,4 | 5 explosiones durante el mantenimiento de la presión y la temperatura | 1,1 |
| | | Y | 0,2-0,3 | 0,4-0,52 | 0,13-1,4 | 0,1-0,3 | | |

industriales (Figura 2). En la Figura 2, se muestran solamente las grabaciones de los gráficos con desplazamientos más complejos de las mesas móviles de las prensas. En las otras grabaciones, los desplazamientos de las mesas, durante la ejecución de la síntesis, también fueron elevados. Por eso,

el número de explosiones es bastante alto. En algunos casos, las condiciones necesarias para el proceso de síntesis no son generadas dentro de la cámara de compresión, como se ve en la Tabla I. Hay que señalar que la posición de la mesa móvil de las prensas, durante el mantenimiento de la

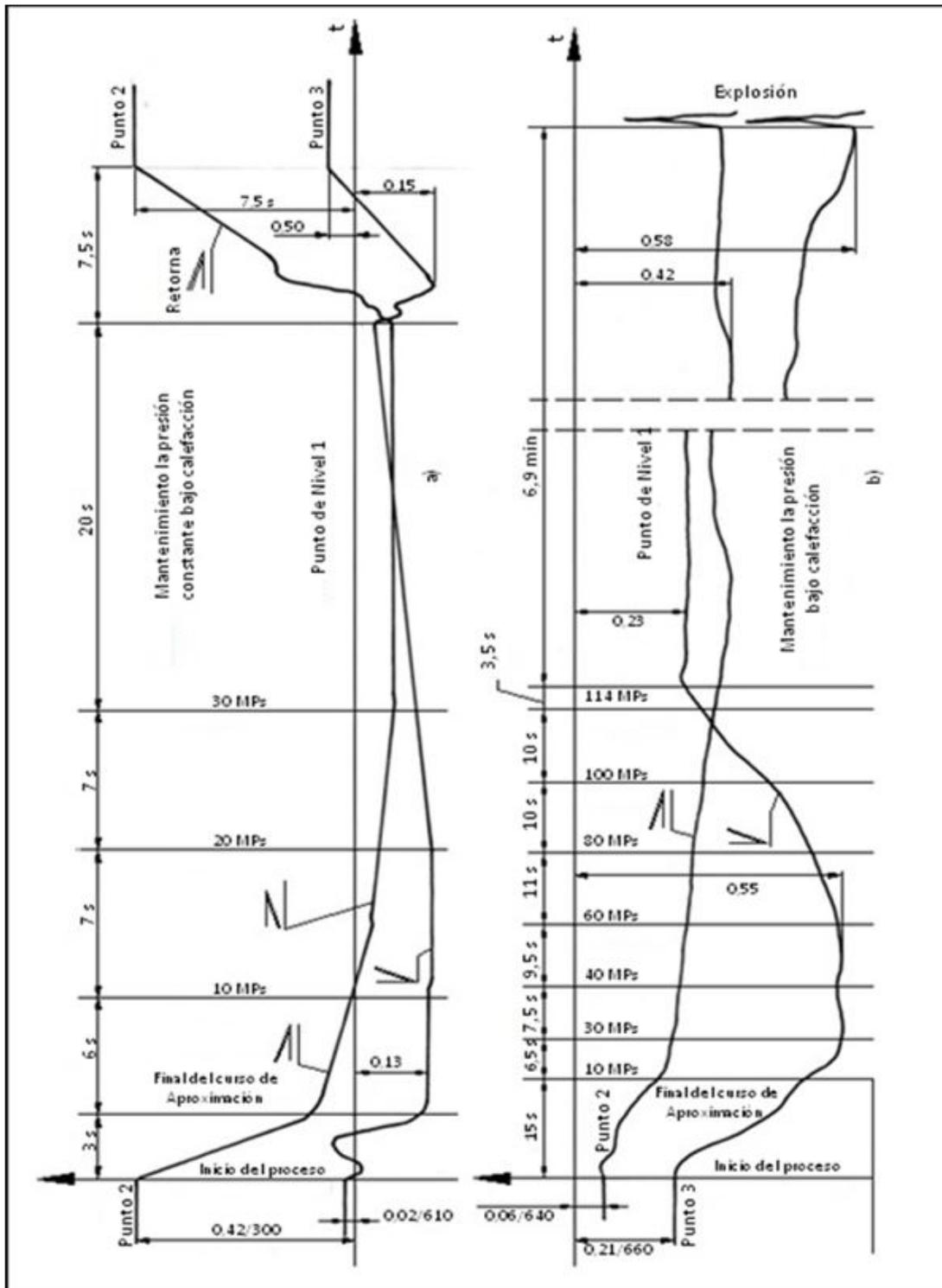


Figura 2. Grabación de los valores máximos del no paralelismo de las prensas. (a) Modelo DA0040; (b) Modelo D0043. < Posición de la mesa móvil con relación al punto I en sentido de izquierda a derecha; < Posición de la mesa móvil con relación al punto I, de adelante hacia atrás.

presión y temperatura, fue modificada solamente después de haberse conectado el calentamiento (Figura 2). Junto con la influencia de la conexión de la bomba de alta presión, hay que resaltar el cambio de la posición del material que forma la rebarba y que influye en la aparición de la falta de paralelismo elevado.

Existe una importante influencia en el valor de la falta de paralelismo y en el valor del desvío de la colocación en la posición de trabajo de los dispositivos de alta presión con relación al eje de la prensa.

El desvío, por ejemplo, de 2 mm durante la operación, provoca cambios en la posición de la mesa móvil junto con la parte inferior del dispositivo en relación con la parte superior (Figura 2). Es necesario mantener la colocación del dispositivo con una precisión de hasta 0,7 mm en relación con el eje de la prensa.

Se presentan los resultados obtenidos con la utilización del mecanismo especial en la Figura 3. Variando la diferencia del paralelismo de 0 hasta 1 mm, fue registrado el número de las explosiones durante el procesamiento. Se ha determinado que el valor admisible del no paralelismo no puede superar los valores de 0,2 a 0,25 mm por 1000 mm de longitud, pues se inician las explosiones durante el mantenimiento de la alta presión y temperatura, que como ya se ha sido dicho, causa la disminución de la vida útil del dispositivo.

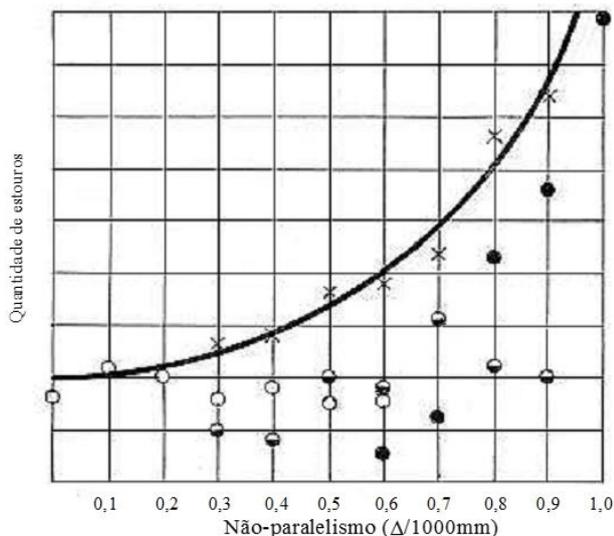


Figura 3. Influencia de la diferencia del paralelismo de las superficies de trabajo en la cantidad de explosiones: • durante la elevación de la presión; ○ – durante la reducción de la presión; x – durante el mantenimiento bajo presión y temperatura.

REFERENCIAS

- 1 Bobrovnichii GS. Dispositivos de super alta presión. Moscú: Ed. Znanie; 1982. 131 p. Ruso.
- 2 Bobrovnichii GS, Ramallo AM, Rangel JJA. Presión preferencial para cilindros de prensas de alto desempeño. Tecnología em Metalurgia. Materiais e Mineração (Impresso). 2015;12:281-285.

Teniendo en cuenta la deformación real de la estructura de la prensa, el valor citado de la falta de paralelismo debe reducirse en 2 veces para garantizar un proceso estable.

La influencia del desplazamiento horizontal de la parte inferior del dispositivo, respecto a la parte superior, comienza a partir de 0,5 mm. Se ha registrado que por encima de este valor, la vida útil del dispositivo comienza a disminuir, y para el desplazamiento de 1,2 mm, disminuye en 3 veces. Por eso, las partes superiores e inferiores del dispositivo de alta presión deben estar sueltas antes de comenzar la compresión en la prensa, y centralizadas a través de la cápsula.

Las prensas especiales de los modelos D0138B y D0044, de capacidad de 630 y 2500 Ton, respectivamente instaladas en la Universidad Estadual do Norte Fluminense (Campos dos Goytacazes, RJ), fueron fabricadas considerándose los resultados obtenidos y, por eso, no presentan las desventajas de las prensas comunes.

4 CONCLUSIONES

- El éxito de la generación de alta presión está relacionada con el *mantenimiento del valor admisible* de la falta de paralelismo para la disminución de las explosiones en el dispositivo de alta presión. Son recomendados los valores 0,15/1000 mm para las prensas destinadas a la producción de diamantes sintéticos y otros materiales superduros;
- Fue determinado el valor admisible para la excentricidad permitida del dispositivo, con relación al eje de la prensa, durante la colocación. Esta no debe ser mayor que 1,0 mm;
- El desplazamiento de la parte inferior del dispositivo de alta presión, en relación con la parte superior, no puede ser mayor que 0,5 mm.

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.

3. Casanova CAM, Oliveira LS, Jornada JAH. Câmaras para geração de altas pressões utilizadas na obtenção de materiais superduros. In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 11-14 Dezembro 1994; São Paulo, Brasil. São Paulo: CBECIMAT; 1994. p. 893-896.
- 4 Spain IL, Paauwe J. High pressure technology. vol. 1-2. New Jersey: Marcel Dekker; 1980. Chapter 7; p. 746.
- 5 Gerasimovitch AV, Kulemza VA, Krikun VI. Estudo dos materiais das gaxetas deformáveis das câmaras de alta pressão. Journal of Superhard Materials. 1982(4):9-11.
- 6 Gerasimovitch AV. La influencia del espesor de la rebarba sobre las características de la compresión y resistencia de las câmaras de alta presión. Sintetitcheskie Almazy. 1975(1):10-14. Ruso.
- 7 Ueda M, Okanto H. Ultra-high pressure generating apparatus. Kobelco Technology Review. 1991(12):37-42.
- 8 Novikov NV, Levitas VI, Chestakov SI. Fundamentals of strength and durability calculation for high pressure apparatus elements. Physica. 1986(139-140B):782-784.
9. Novikov NN, Levitas VI, Chestakov SI. Estudio de la resistencia y durabilidad de los yunques de metal duro en los dispositivos de alta presión. Problemas da Resistencia. 1991(6):27-34. Ruso.
10. Sadkov YUA, Semerchan AA, Kuzin NN. Calibration of high pressure apparatus with shaped bridgman anvil. High Temperatures. High Pressures. 1976;8(6):702-703.

Recibido en: 1 Mar. 2016

Aceptado en: 9 Feb. 2017