

25. Бобровицкий Г. С. Зверев А. С., Максимов Л. Ю. Многопуансонное устройство для создания сверхвысокого давления. // Приборы и техника эксперимента. – М., 1974. – С. 220–222.
26. А. с. 367665 СССР, СІВ 30b. Многопуансонное устройство высокого давления / Г. С. Бобровицкий, А. С. Зверев, Л. Ю. Максимов. – Оpubл. 03.11.72.
27. Пат. 1738322, Россия, В 01jВ30b. Устройство для создания сверхвысоких давлений / Г.С Бобровицкий, О. А. Никулин, М. Х. Горфинкель, В. С. Беловол – Оpubл. 08.02.92.
28. Bundy F. P. Ultra high pressure apparatus / F. P. Bundy // Phys. Reports. – 1988. N 3.–P. 133–176.
29. Анализ основных параметров и выбор оптимальной конструкции многопуансонного блока аппарата типа разрезная сфера / И. Ю. Малиновский, А. А. Годовиков, Э. Н., Ран., А. И. Чепуров // Сверхтвёрдые матер.: Тез. докл. Междунар. семинара. – 1981. – Т 1. – С. 45–46.
30. Чепуров А. И. Беспрессовые аппараты разрезная сфера (БАРС): история создания и перспективы применения // Синтез, спекание и свойства сверхтвёрдых материалов: – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины – 2011– С. 72–74.
31. Пат. 2077375 РФ, СІ. В 01. Многопуансонное устройство сферического типа для создания высокого давления и высокой температуры // Г.С. Бобровицкий – Оpubл. 20.04.97.
32. Bobrovnichii G. S., Persikov E. S. The multi-anvil spherical type device of high pressure with cubic compression chamber // Sixth applied diamond conference; Second frontier carbon technology joint conf. (ADC/FCT). – 2001 – Auburn, 2001. V.1. – P. 245–252.

*Поступила 12.06.15 г.*

УДК 539.89

**В. М. Доценко; С. А. Виноградов**, канд. техн. наук, **Т. В. Коваленко;**  
**О. А. Заневский**, канд. хим. наук, **С. А. Ивахненко**, член-корр. НАН Украины

*Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОСТИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ 9 ГПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТУРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТИПА «ТОРОИД» ТС13,5**

*Изложены методические особенности градуировки аппаратуры высокого давления типа «тороид» ТС13,5 мм. Показано, что с уменьшением наружного диаметра контейнера с 30 до 25,5 мм повышается эффективность создания давления, в результате чего нагрузочная характеристика аппарата становится линейной; верхняя граница достижимого давления увеличивается до 9,4 ГПа.*

**Ключевые слова:** *высокие давления, эффективность создания давления, нагрузочная характеристика аппарата высокого давления.*

Для получения сверхвысокого давления до 8 ГПа используют аппараты высокого давления (АВД) типа «тороид» [1]. Применяют несколько типоразмеров АВД с разным диаметром сферического центрального углубления: 13,5; 20; 30 и 40 мм (соответственно, ТС13,5, ТС20, ТС30 и ТС40).

Для достижения давления 8 ГПа и более можно использовать аппарат ТС13,5, однако в этом случае экстраполяция нагрузочной характеристики в область более высокого давления может оказаться неправильной вследствие достижения критической толщины сжимаемой прокладки [2], которая образуется при деформировании контейнера, а также пластического течения материала матриц, изготовленных из твердого сплава марки ВК6. В этой связи при достижении давления 7,7 ГПа (фиксированная точка ViIII–V для градуировки давления) [3], экстраполировать нагрузочную характеристику более чем на 3–5 ГПа некорректно.

Наиболее простым способом повышения достижимого давления в квазигидростатической аппаратуре является увеличение толщины сжимаемой прокладки до значений, позволяющих материалу контейнера истекать из камеры. Как было показано ранее [4], на примере сжатия тонкого диска между плоскими наковальнями Бриджмена, при постоянном усилии сжатия отношение

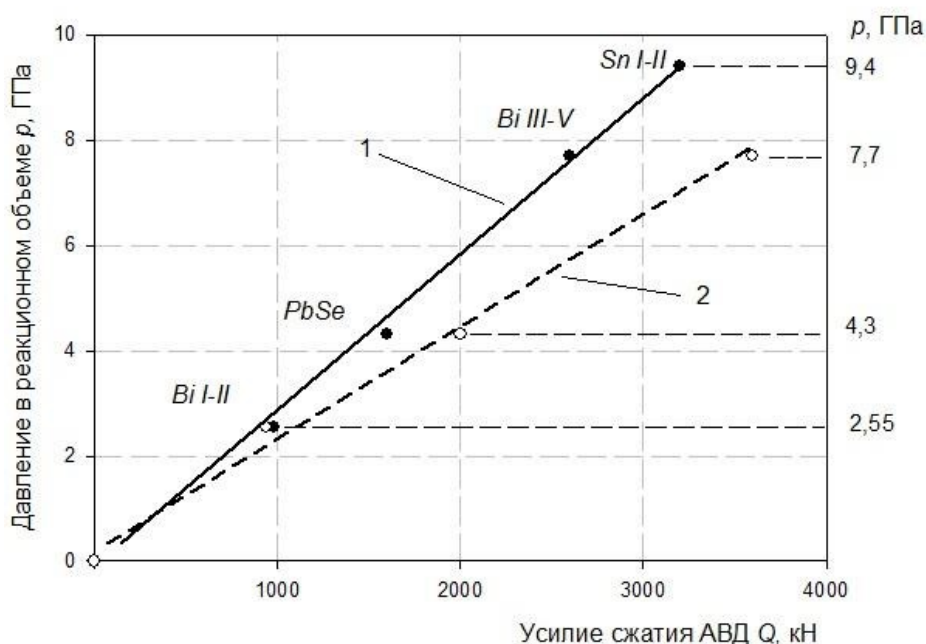
толщины диска к его диаметру не изменяется. Поэтому было сделано предположение, что с уменьшением наружного диаметра контейнера при сохранении его высоты постоянной уменьшается количество материала, вытесняемого в область уплотнения. Так как отношение толщины уплотнения к его диаметру постоянно при фиксированном усилии сжатия, то уменьшается толщина уплотнения, что способствует увеличению сжимающего хода блок-матриц. С увеличением сжимающего хода должно повышаться давление в реакционном объеме при постоянном сжимающем усилии.

Цель настоящей работе – исследовать возможность повышения давления до 9 ГПа и более в реакционной ячейке АД ТС13,5 вследствие уменьшения наружного диаметра контейнера.

Были исследованы контейнеры из блочного литографского камня Алгетского месторождения (Грузия) с наружным диаметром 30 и 25,5 мм при высоте и диаметре центрального отверстия контейнера 7 мм. Давление в реакционном объеме АД определяли с помощью резистометрии с использованием фазовых превращений в висмуте, селениде свинца и олове [5; 6].

Градуировка АД выполнялась с помощью резистометрии по фиксированным точкам превращений в Bi (2,55 и 7,7 ГПа [3]), PbSe (4,3 ГПа [6]) и Sn (9,4 ГПа [3]) путем построения нагрузочной характеристики – зависимости давления (значения фиксированной точки превращения в висмуте, селениде свинца и олове) от усилий пресса. Для этого были использованы специальные датчики давления [6] и соответствующие электрические схемы. Для работы была спроектирована и разработана автоматизированная система, для обработки данных с помощью пакета специальных программ [7].

Результаты градуировки АД ТС13,5 с использованием разработанной автоматизированной системы показаны на рисунке.



Результаты градуировки АД типа «тороид» ТС13,5: сплошные линии 1, 2 – наружный диаметр контейнера, соответственно, 25,5 и 30,0 мм

Кривая 2 на рисунке является нагрузочной характеристикой с использованием контейнера диаметром 30 мм; при повышении давления уменьшается наклон кривой  $dp/dQ$ ; при давлении 7,7 ГПа  $dp/dQ = 1,64 \cdot 10^{-3}$  ГПа/кН, усилие нагружения составляет 3600 кН.

Кривая 1 на рисунке построена с использованием данных по фиксированным точкам давления для контейнера диаметром 25,5 мм. Как видим, нагрузочная характеристика носит линейный

характер вплоть до фиксированной точки со значением  $9,4 \pm 4$  ГПа (олово); наклон составляет  $2,96 \cdot 10^{-3}$  ГПа/кН при усилии нагружения 3000 кН.

Как следует из данных рисунка, усилие нагружения, необходимое для генерирования давления 7,7 ГПа при использовании контейнера с наружным диаметром 25,5 мм, на ~40 % меньше по сравнению с диаметром контейнера 30 мм.

Результаты исследования показали, что при выбранных размерах контейнера АД ТС13,5 значительно повышается предел достижимого давления; линейный характер нагрузочной характеристики 1 позволяет с большей точностью определять давление в ячейке в интервале ~4,5–9,4 ГПа. Вероятнее всего, недостаток работы аппарата ТС13,5 с диаметром контейнера 25,5 мм состоит в существенном увеличении градиентов давления по поверхности матрицы в сравнении с использованием контейнера диаметром 30 мм. В этом случае средний градиент давления в сжимаемой прокладке повышается с  $2,57 \cdot 10^{-1}$  до  $3,08 \cdot 10^{-1}$  ГПа/мм. Хотя указанный недостаток существенно влияет на экономическую эффективность АД, однако для научных исследований такой метод повышения верхней границы достижимого давления приемлем с позиций повышения стабильности и снижения погрешности определения давления.

*Викладено методичні особливості градування апаратури високого тиску типу «тороїд» ТС13,5 мм. Показано, що зі зменшенням зовнішнього діаметра контейнера з 30 до 25,5 мм підвищується ефективність створення тиску, у результаті чого навантажувальна характеристика апарату стає лінійною; верхня межа досяжного тиску підвищується до 9,4 ГПа.*

**Ключові слова:** високі тиски, ефективність створення тиску, навантажувальна характеристика апарату високого тиску.

*In the present work the calibration methodical features of the high pressure TC13,5 mm "toroid" type equipment are presented. It is shown that reduction of the outer diameter of the container from 30 to 25,5 mm allows to increase the efficiency of the pressure generation and therefore the load characteristic of the device becomes linear; the top limit of the achievable pressure increases up to 9,4 GPa.*

**Key words:** high pressures, efficiency of pressure generation, load characteristic of high-pressure apparatus.

## Литература

1. Khvostantsev L. G. Device of toroid type for high pressure generation / L.G. Khvostantsev, L.F. Vereshchagin, A.P. Novikov // High Temp-High Press. – 1977. – 2. – N 6. – P. 637–639.
2. Wakatsuki M. Notes on compressible gasket and Bridgman-anvil type high pressure apparatus / M. Wakatsuki, K. Ichinose, T. Aoki // Jap. J. of Applied Phys. – 1972. – V11. – N 4. – P. 578–590.
3. Тонков Е.Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении / Е.Ю. Тонков // М.: Наука, 1979. – 191 с.
4. Виноградов С.А. Обобщение результатов испытаний горных пород на наковальнях Бриджмена с целью выбора материала контейнера АД / С.А. Виноградов, В.М. Доценко // Породоразрушающий и металообабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2010. Вып. 13. – С. 352–357.
5. Некоторые вопросы измерения давления в камерах с последующим нагревом / А. И. Прихна, А. В. Герасимович, Э. Б. Вишнеvский и др. Влияние высоких давлений на вещество : матер. I Укр. республ. семинара (Киев, 1975 г.). – К. : ИСМ АН УССР, 1975. – С.140–143.
6. Герасимович А. В. Ячейка для измерения сверхвысоких давлений / А. В. Герасимович, Э. Б. Вишнеvский, А. Ф. Ляшенко // Синтетические алмазы. – 1973. – Вып. 3. – С. 4–7.
7. Автоматизированная система регистрации данных тарировки аппарата высокого давления / С. А. Ивахненко, С. А. Виноградов, Я.А. Подоба, В. И. Винник // Породоразрушающий и металообабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2012. – Вып. 15. – С. 421–426.

Поступила 25.05.2015