

The experimental methodic for producing resistive and reaction parts of the high pressure cell, which was applied to perform high pressure–high temperature treatment at pressure up to 10 GPa and temperature up to 3000 °C in the high pressure apparatus type “toroid” are presented as well as results on temperature graduation of the directly heating cells.

Key words: higher temperatures, higher pressures, HTHP-treatment, resistor measuring, the pressure gage, diamond.

Литература

1. Тонков Е.Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. – М.: Наука, 1979. – 192 с.
2. Тонков Е.Ю. Фазовые превращения соединений при высоком давлении: Справоч. изд.: В 2 кн. / Под ред. Е.Г. Понятовского – М.: Металлургия, 1988. – 464 с.
3. Getting J.C., Kennedy G.C. Effect of pressure on the emf chromel-alumel and platinum-platinum 10 % rhodium thermocouples // J. Appl. Phys. – 1970. – 41, N 11. – P. 4552 – 4562.
4. Пат. 1342369 Англия, МКИ В 01 3/00. Устройство для создания высокого давления / А.В. Колчин, В.И. Вепринцев, М.И. Глачко и др. – Приор. от 03.01.74.
5. Berman R., Simon F. On the graphite-diamond equilibrium // J. Electrochem. Soc. – 1955. – 59, № 2. – P. 333 – 338.
6. Diamond-graphite equilibrium line from growth and graphitization of diamond / F.P. Bundy, H. P. Bovenkerk, H.M. Strong, R.H. Wentorf // J. Chem. Phys. – 1961. – 35, N 2. – P. 383 – 391.
7. Strong H.M., Hanneman R.E. Crystallization of diamond and graphite // J. Chem. Phys. – 1967. – 46, N 9. – P. 3668 – 3676.
8. Условия термодинамического равновесия алмаза с различными углеродными материалами / Л.Ф. Верещагин, Е.Н. Яковлев, Л.М. Бучнев, Б.К. Дымов // Теплофизика высоких температур. – 1977. – № 2. С. 316 – 321.
9. Исследование физико-химических закономерностей направленного роста и легирования монокристаллов алмаза, разработка методов управления процессом синтеза в течение 20–100 часов // Отчет по теме 0167. – К. : ИСМ АН УССР, 1989.

Поступила 20.06.11

УДК 62-988

П. А. Балабанов, канд. техн. наук

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

АППАРАТЫ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДАВЛЕНИЙ БОЛЕЕ 10 ГПА

Представлен литературный обзор конструкций и характеристик аппаратов одноосного сжатия, применяемых для создания давлений более 10 ГПа.

Ключевые слова: аппарат высокого давления и температуры, наковальни.

Экспериментальная физика высоких давлений, являясь продолжением физики атмосферного давления в новое измерение, существенно повышает возможности эксперимента и увеличивает объем доступной информации. При воздействии внешнего давления на вещество могут появляться более плотные его модификации со специфическими механическими, электрическими, магнитными и сверхпроводящими свойствами. Количество таких модификаций по мере достижения все более высоких давлений непрерывно увеличивается. Это открывает большие возможности для создания новых материалов, в том числе стабильных при нормальных условиях. Нередки случаи, когда при изучении фазовых переходов под давлением обнаруживаются модификации, стабильные при атмосферном давлении. Метастабильность фаз – это практический вопрос создания новых материалов, тесно связанный с кинетическими особенностями фазовых превращений.

В настоящее время освоены и широко применяются давления до 10 ГПа, создаваемые при температурах, достигающих 2700 К. Особый интерес представляют более высокие давления, значительно расширяющие возможности исследований.

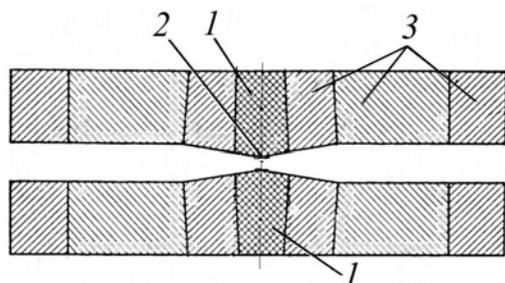


Рис. 1. Схема АВД типа наковальни Бриджмена: 1 – наковальни; 2 – рабочие площадки наковален; 3 – скрепляющие кольца

Достижение таких давлений представляет исключительный интерес для ученых, работающих в области физики твердого тела, материаловедения, физической химии, геофизики.

Для создания давлений более 10 ГПа используют специальные аппараты высокого давления (АВД) одно- и многоосного сжатия различных типов. Обзоры аппаратов многоосного сжатия приведены в [1; 2]. Рассмотрим конструкции и технические характеристики основных типов АВД одноосного сжатия, применяемых для создания давлений более 10 ГПа.

Наиболее просты по конструкции наковальни Бриджмена [3], в которых за счет реализации принципов массивной и боковой поддержки впервые удалось создать давление, значительно превышающее предел прочности материала (твердого сплава), из которого изготавливаются создающие высокое давление детали аппарата (рис. 1).

В этом устройстве давление создается между двумя сжимаемыми с двух сторон коаксиальными коническими наковальнями с плоскими торцами под действием сил, направленных вдоль одной оси. Так как высокое давление создается на небольшом по площади участке тела значительного объема, – плоском рабочем торце малого диаметра, который представляет собой меньшее основание усеченного конуса, благодаря поддержке окружающего этот участок материала намного большего по сравнению с рабочим торцом диаметра предел текучести при сжатии области вблизи рабочего торца повышается в два-три раза по сравнению с пределом текучести при сжатии материала тела. Этот конструктивный прием называется принципом «массивной поддержки». Напряжения, возникающие на малых плоских площадках пуансонов в форме усеченного конуса, быстро снижаются, распространяясь на основной объем, и, следовательно, в такой конструкции повышается предел прочности материала. Выигрыш в прочности существенно зависит от угла между образующими конуса, и эффективными являются углы более 140° .

Принцип «боковой поддержки» заключается в том, что твердосплавные наковальни запрессованы в блок прочных стальных колец, которые воздействуют на наковальни так, что последние несколько сжаты в диаметре и растянуты в длину. При приложении осевого усилия к наковальням во время сжатия ими образца распределение напряжений в наковальнях становится обратным, и поэтому скрепленные кольцами наковальни способны выдержать большую нагрузку, т. е. работать в более широкой области напряжений без разрушения.

В наковальнях Бриджмена использован также принцип сжимаемого уплотнения, заключающийся в том, что тонкая прокладка с исследуемым образцом, помещенная в зазор между сближающимися плоскими торцами наковален, может удерживать высокое давление в рабочем объеме. При сближении наковален, на которые действует усилие гидравлического пресса, прокладка (уплотнение) с образцом сжимается и начинает выдавливаться из зазора между наковальнями. Силы внутреннего трения в материале прокладки, а также трения на контактах между поверхностью материала и поверхностями наковален, уравнивают создаваемое давление. При этом в материале прокладки устанавливается радиальный градиент давления вдоль радиуса наковален: оно достигает максимума в центре образца, а около краев резко снижается до атмосферного [4].

Таким образом, в АВД типа наковальни Бриджмена давление создается в тонкой прокладке в форме диска, расположенной между двумя плоскими торцами наковален, которые сжимаются одноосным прессом.

Обычно диаметр рабочей площадки наковален не превышает 26 мм. Поскольку прокладка (сжимаемое уплотнение) неизбежно имеет малую толщину, в аппарате объем сжимаемого вещества незначителен – около 10^{-2} – 10^{-3} см³ при толщине образца около 0,1 мм. Схема ячейки высокого давления показана на рис. 2.

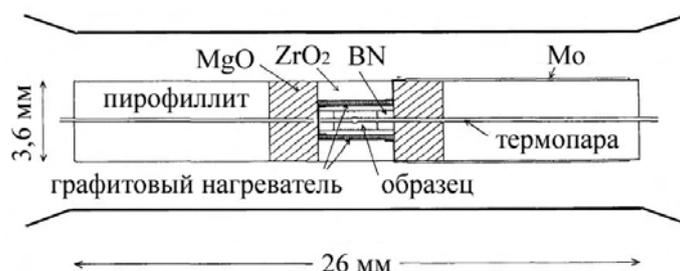


Рис. 2. Схема ячейки высокого давления с внутренним нагревом, применяемой в АД типа наковальни Бриджмена

Этот аппарат применяли главным образом для работы при комнатной температуре. Некоторые исследователи использовали его для работы до температуры 900°K, нагревая весь аппарат. Несколько более высокую температуру получили с помощью миниатюрного тонкого нагревательного элемента сопротивления, расположенного в тонком образце между гранями наковален. Однако полученная температура ограничена высокой теплопроводностью наковален. Накováльни, изготовленные из твердого сплава, позволяют достигать давления 15 ГПа и температуры 1500 К при использовании внутренней системы нагрева [5]. При использовании наковален Бриджмена, в которых наиболее напряженная область диаметром 15 мм твердосплавных наковален в центре рабочего торца выполнена из алмазного композиционного поликристаллического материала (АКПМ), достигаются давления свыше 20 ГПа при таких же температурах [5].

В наковáльнях Бриджмена конусные поверхности остаются без внешней поддержки. В целях повышения предельных давлений, достижимых в аппарате, вполне резонно создать и на этих поверхностях сжимающих напряжений, что и было реализовано в АД типа наковáльни Дрикамера (рис. 3).

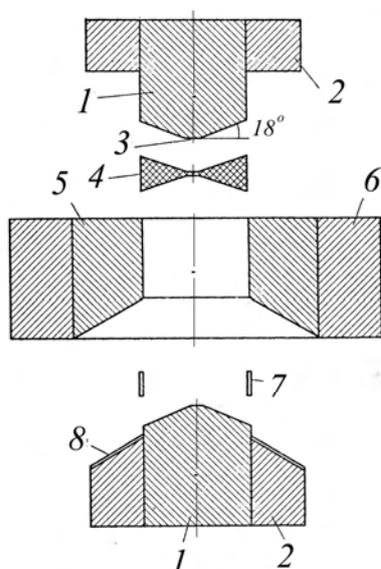


Рис. 3. Схема АД типа наковáльни Дрикамера: 1 – наковáльни; 2, 6 – скрепляющие кольца; 3 – рабочая площадка высокого давления; 4 – таблетка из пиррофиллита; 5 – корпус; 7 – изоляция из слюды; 8 – изоляция из бакелита

В этом аппарате наковáльни входят в цилиндрический корпус, между внутренней поверхностью которого и коническими поверхностями наковáльен помещено уплотнение – таблетка из пиррофиллита [6]. Эта таблетка обеспечивает плавное изменение давления при переходе от рабочего торца к конической поверхности, исключая тем самым громадные градиенты давления, возникающие на периферии рабочего торца в обычных наковáльнях Бриджмена, т. е. на эти конические поверхности воздействует давление, равное противодействию, создаваемому сжимаемыми частями аппарата. При этом по мере продвижения рабочей площадки высокого давления, давление поддержки от уплотнения постоянно повышается. В этой связи такая поддержка называется активной.

Методика подготовки аппарата к работе предусматривает предварительное спрессовывание таблеток непосредственно в камере и нагружение наковáльен до появления пластической деформации с последующим восстановлением начальной геометрии с помощью шлифования. После такой подготовки в аппарате Дрикамера можно достичь давления 20 – 25 ГПа.

В первой конструкции аппарата диаметр наковáльен составлял около 22,3 мм, диаметр его рабочей площадки высокого давления около 2,5 мм. Диаметр исследуемого образца – 0,1–0,3 мм, толщина – 0,01–0,02 мм.

Предельное давление, достижимое в аппарате Дрикамера, ограничено возникновением пластической деформации наковáльен, т. е. пределом текучести твердого сплава. Наиболее прямой путь к повышению предельного достижимого давления заключается в выборе такого материала для наковáльни, который характеризовался бы более высокой прочностью и жесткостью. Выполняя, как и

в наковальнях Бриджмена, наиболее напряженную центральную область наковален из АКПМ [7] либо используя наковальни полностью изготовленные из АКПМ [8], в этом АД можно повысить предел достигаемых давлений до 40 ГПа. Недавно при изготовлении центральной области наковален из нано-поликристаллического алмаза, полученного прямым превращением из графита, в этом аппарате получили давление более 55 ГПа [9].

Для измерения температуры в описанных АД предпочтительно применять термопары W 3% Re – W 25% Re или W 5% Re – W 26% Re, поскольку термопары на основе W – Re имеют высокую температуру плавления и влияние давления на их ЭДС меньше, чем для Rt – Rt 13% Rh [10].

При калибровке АД по давлению при комнатной температуре обычно используют фазовые переходы в ZnS (15,5 ГПа), GaAs (18,7 ГПа), GaP (22,5 ГПа), S (30 ГПа), EuO (40 ГПа), Fe₂O₃ (50 ГПа), CoO (55 ГПа) [11].

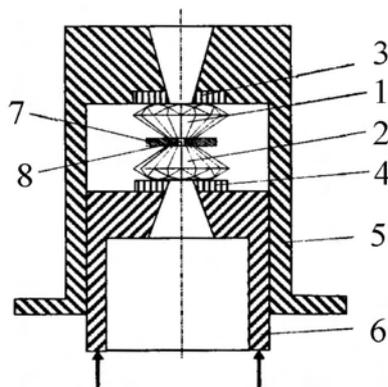


Рис. 4. Схема узла высокого давления DAC: 1, 2 – алмазные наковальни; 3, 4 – опорные вставки; 5 – направляющий цилиндр; 6 – поршень; 7 – деформируемая прокладка; 8 – исследуемый образец

Наиболее высоких давлений можно достичь в алмазных наковальнях (DAC) [12]. В DAC исследуемый образец устанавливается в тонкой (толщиной 20–200 мкм) деформируемой металлической прокладке, которая при создании высокого давления сжимается между двумя алмазными наковальнями с плоскими вершинами (рис. 4). Диаметр поверхности плоских вершины наковален обычно составляет 0,1–1,0 мм. При этом объем исследуемого образца не превышает 0,1 мм³.

В зависимости от особенностей конструкции в DAC достигаются давления до 300 ГПа и температуры, изменяющиеся от температуры жидкого гелия до 6000 К [13].

В качестве механизма для создания давления в DAC используют механические или гидравлические устройства.

Деформируемые прокладки чаще всего изготавливают из стали, а для экспериментов при высоких температурах используют прокладки из рения или иридия. Для экспериментов с применением рентгеновской дифракции

применяют прокладки из бериллия.

Благодаря прозрачности алмазных наковален в широком диапазоне частот в ячейке высокого давления DAC применимы рентгеновская дифракция, рассеивание Бриллюэна, инфракрасная, рамановская, мессбауэровская и оптическая спектроскопии, а также другие методы исследования [12].

Образец нагревают в DAC либо пропусканием электрического тока непосредственно через ячейку с образцом [14] или дополнительно установленный вокруг ячейки высокого давления нагреватель, либо облучением образца инфракрасным лазером. Резистивное нагревание образца ограничено температурами 1400–1500 К, превышение которых приводит к быстрой графитизации алмазных наковален. Более высокие температуры достигают при лазерном нагревании.

Для измерения температуры в DAC используют оптическую пирометрию, рамановскую спектроскопию, миниатюрные термопары и спектрорадиометрию [15].

Давление в DAC определяют стандартным методом по флуоресценции рубина, возбуждаемой аргон-ионным лазером или другим источником мощного излучения [16].

Не так давно стали доступны наковальни из муассанита, высокочистого SiC, выращенного методом осаждения из газовой фазы [17]. При изготовлении наковален из этого материала достигают давления более 50 ГПа. Хотя твердость муассанита ниже твердости алмаза, такие наковальни можно использовать при температурах намного выше 1300 К. Кроме того, из муассанита можно изготавливать большие наковальни по сравнительно низкой стоимости. В этой связи наковальни из муассанита привлекательны для использования при высоких температурах в DAC с внешним нагреванием ячеек так же, как для экспериментов, требующих образцы больших объемов (в 1000 раз), чем те, которых можно достичь в DAC. Однако муассанит поглощает инфракрасное и рентгеновское излучение намного сильнее, чем алмаз и существуют свидетельства того, что прочность этих наковален существенно снижается при высоких температурах [18].

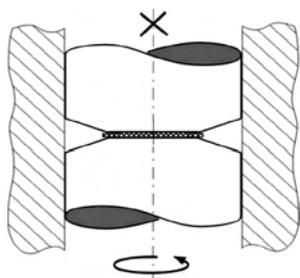


Рис. 5. Схема, применяемая для осуществления сдвиговой пластической деформации при высоком давлении

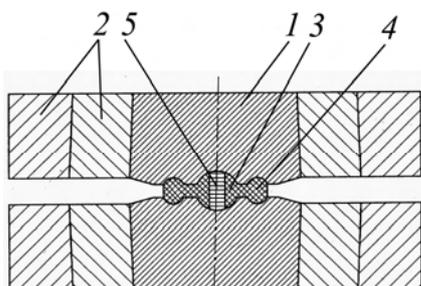


Рис. 6. Схема узла высокого давления АВД типа «тороид»: 1 – наковальня с углублениями типа «тороид»; 2 – блок скрепляющих колец; 3 – контейнер; 4 – тороидальное уплотнение; 5 – реакционная ячейка

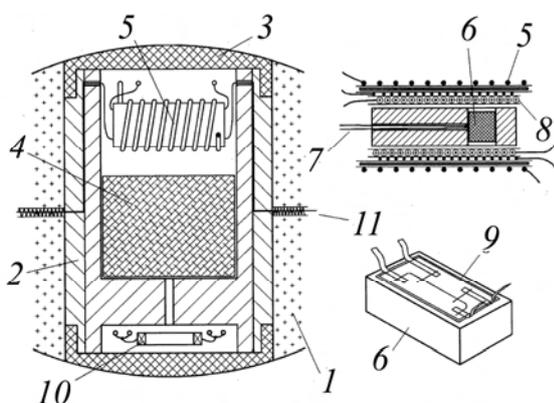


Рис. 7. Конструкция заполненной жидкостью ампулы для высокотемпературных измерений магнитной восприимчивости и техники измерения деформации при высоком давлении для изучения уравнения состояния при комнатной температуре: 1 – уплотнение (литографский камень); 2 – тefлоновая ампула; 3 – крышка; 4 – теплоизоляция (асбест); 5 – нагреватель; 6 – образец; 7 – термopара; 8 – система катушек для магнитных измерений; 9 – тензодатчик; 10 – манганиновый датчик давления; 11 – электрические токоподводы

Следует отметить, что все вышеописанные АВД могут использоваться для проведения экспериментов с применением сдвиговой пластической деформации при высоком давлении, способствующей протеканию в исследуемых образцах ряда фазовых переходов. Пластическую деформацию в таких случаях осуществляют поворотом одной из наковален относительно другой (рис. 5). При этом дополнительная сдвиговая пластическая деформация ведет к значительному снижению давления фазового перехода и к образованию новых материалов, которые не могут быть получены без дополнительных пластических деформаций [19].

Основной недостаток наковален с плоскими гранями – малый рабочий объем, в котором создается высокое давление – устранен в АВД типа «наковальни с углублениями», на рабочих площадках которых имеются осесимметричные углубления различной формы, в которых размещают контейнер из кальцита, в реакционной ячейке которого расположен исследуемый образец.

Деформация наковален под давлением и чрезмерное вытеснение материала уплотнения препятствуют получению давлений более 10 ГПа в этих устройствах. Таких давлений удалось достичь в АВД типа «тороид» [20], в котором используется метод поддержки материала уплотнения, окружающего образец, и центральной части наковален в целях сокращения деформации наковален и вытеснения уплотнения.

Отличием АВД типа «тороид» от других наковален с углублениями является наличие тороидального углубления вокруг центральной части на рабочей поверхности наковален (рис. 6). Давление, генерирующееся в области тора, выполняет две функции. Во-первых, резко снижает экструзию центральной части прокладки. Во-вторых, снижает сдвиговые напряжения в теле наковальни. Таким образом, центральная часть наковальни эффективно поддерживается, и эта поддержка усиливается с повышением давления. Таким образом достигаются более высокие давления.

АВД типа «тороид» позволяет создавать давления до 16 ГПа и температуру до 2800 К в объеме до 0,3 см³ при изготовлении наковален из твердого сплава [21]. При использовании сверхтвердых материалов достигаются давления в десятки гигапаскалей в небольших объемах. «Тороид» с центральной частью из синтетического алмаза типа карбонадо развивает давление до 35 ГПа в объеме 0,1 мм³ [22]. Давления около 25 ГПа в объеме 10 мм³ удается достичь с использованием двухступенчатого АВД на базе

«тороида». В таком АД наковальни второй ступени из АКПМ соосно расположены в реакционной ячейке контейнера АД типа «тороид», который играет роль наковален первой ступени [23].

Преимущество АД типа «тороид» заключается также в удобстве введения в реакционную ячейку заполненной жидкостью капсулы и многочисленных электрических проводов, что делает его почти идеальным для изучения физических свойств, которые могут быть реализованы на базе электрических измерений (рис. 7). Это позволяет определять электрические, термические, магнитные и объемные свойства материалов в гидростатической среде при комнатной и повышенной температурах так же как и проводить эксперименты по синтезу материалов [24].

Таким образом, АД одноосного сжатия, применяемые для создания давлений более 10 ГПа, представляют собой различные модификации наковален Бриджмена и позволяют создавать в плоском тонком образце давления 15 – 25 ГПа при использовании в качестве материала наковален твердого сплава и до 300 ГПа при использовании в качестве наковален монокристаллов алмаза с одновременным нагревом исследуемых образцов до высокой температуры.

Основным недостатком таких АД является малый рабочий объем, в котором создается высокое давление. Значительно большим рабочим объемом обладает АД одноосного сжатия типа «тороид», который позволяет создавать давления до 16 ГПа в объеме до 0,3 см³.

Представлено літературний огляд конструкцій і характеристик апаратів одноосового стискування, які застосовують для створення тисків більших за 10 ГПа.

Ключові слова: апарат високого тиску та температури, ковадла.

The literary review of designs and characteristics of devices of uniaxial pressurization (uniaxial squeezer devices) for creation of the pressure exceeding 10 Gpa is submitted.

Key words: high pressure, high temperature apparatus, anvils.

Литература

1. Балабанов П. А., Боримский А. И., Чипенко Т. Ю. Кубические многопуансонные аппараты для создания давлений выше 10 ГПа // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. 12. – С. 183–186.
2. Балабанов П. А. Двухступенчатые многопуансонные аппараты типа «октаэдр в кубе» для создания давлений более 10 ГПа // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 343–348.
3. Bridgman P. W. Explorations toward the Limit of Utilizable Pressures // J. Appl. Phys. – 1941. – 12. – P. 461–469.
4. Кетчин В. В., Яковлев Е. Н. Мультипликация давлений в аппаратах высокого давления типа наковален // Физика и техника высоких давлений. – 1986. – Вып. 23. – С. 74–78.
5. Masaki B. A., Yamazaki T. Bridgman Anvil with a Sintered Diamond Core for Phase Transformation Studies at High Pressures and High Temperatures // Proc. Japan Acad. – 1991. – 67. – Ser. B. – P. 61–65.
6. Balchan A. S., Drickamer H. G. High Pressure Electrical Resistance Cell, and Calibration Points above 100 Kilobars // Rev. Sci. Instrum. – 1961. – 32. – N 3. – P. 308–313.
7. Bundy F. P. Ultrahigh pressure apparatus using cemented tungsten carbide pistons with sintered diamond tips // Rev. Sci. Instrum. – 1975. – 46. – N 10. – P. 1318–1324.
8. High-pressure in situ x-ray-diffraction study of the phase transformation from graphite to hexagonal diamond at room temperature / T. Yagi, W. Utsumi, Masa-aki Yamakata et al. // Phys. Rev. B. – 1992. – 46. – N 10. – P. 6031–6039.
9. Pressure generation up to 55 GPa using a Drickamer-type apparatus with sintered diamond anvils toward use of nano-polycrystalline diamond as anvils / N. Nishiyama, T. Maeda, T. Irifune et al. // J. of Phys.: Conf. Ser. – 2010. – 215. – P. 1–4.
10. Li J., Hadidiacos C., Mao H. K. Behavior of thermocouples under high pressure in a multi-anvil apparatus // High Pres. Res. – 2003. – 23. – P. 389–401.
11. Frost D. J., Poe B. T., Tronnes R. G. A new large-volume multianvil system // Phys. Earth Planet. Inter. – 2004. – 143-144. – P. 507–514.

12. Jayaraman A. Diamond anvil cell and high-pressure physical investigations // *Rev. Mod. Phys.* – 1983. – 55. – P. 65–108.
13. Ruoff A. L., Wanagel J. High pressures on small areas // *Sci.* – 1977. – 198(4321). – P. 1037–1038.
14. Dubrovinsky L. S., Saxena S. K., Lazor P. X-ray study of iron with in situ heating at ultrahigh pressures // *Geophys. Res. Lett.* – 1997. – 24. – P. 1835–1838.
15. Development of laser-heated diamond anvil cell facility for synthesis of novel materials / N. Subramanian, N. V. Chandra Shekar, N. R. Sanjay Kumar, P. Ch. Sahu // *Curr. Sci.* – 2006. – 91. – N 2. – P. 175–182.
16. Xu J., Mao H. K., Bell P. M. High pressure ruby and diamond fluorescence: Observations at 0,21 to 0,55 terapascal // *Sci.* – 1986. – 232. – P. 1404–1406.
17. Xu J. A. Mao H. K. Moissanite: A window for high-pressure experiments // *Sci.* – 2000. – 290. – P. 783–785.
18. The strength of moissanite / J. Z. Zhang, L. P. Wang, D. J. Weidner et al. // *Am. Mineral.* – 2002. – 87. – P. 1005–1008.
19. Исследование механических свойств и фазовых переходов материалов на алмазных наковальнях при сжатии и сдвиге: Отчет о НИР: Ин-т сверхтвердых материалов НАН Украины. – №ГР0195У027050. – Киев, 1996. – 75 с.
20. Pat. 4290741 USA, 103 В 30 В 11/32. Device for building up high pressure / A. K. Kolchin, V. I. Vepintsev, L. I. Klachko. – Publ. 22.09.81.
21. Циок О. Б., Хвостанцев Л. Г. Фазовые переходы в церии при высоких давлениях до 15 ГПа и высоких температурах // *ЖЭТФ.* – 2001. – Т. 120. – вып. 6 (12). – С. 1438–1444.
22. A miniature «toroid» high-pressure cell with superhard pistons / V. V. Evdokimova, I. G. Kuzemskaya, S. P. Pavlov, V. P. Modenov // *High Temper.–High Press.* – 1976. – 8. – N 6. – P. 705–706.
23. Bilyalov Ya. R., Kaurov A. A., Tsvyashchenko A. V. Pressure generation by a double-stage system using sintered diamond as the last stage anvil // *Rev. Sci. Instrum.* – 1992. – 63(4). – P. 2311–2314.
24. Khvostantsev L. G., and Sidorov V. A. High pressure polymorphism of antimony. Thermoelectric properties and electrical resistance studies // *Phys. St. Sol.* – 1981. – 64(a). – P. 379–384.

Поступила 21.06.11

УДК 539.89

С. А. Виноградов, канд. техн. наук

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

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЖАТИЯ ДИСКОВ ПЛОСКИМИ НАКОВАЛЬНЯМИ БРИДЖМЕНА В РАМКАХ БЕЗРАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

Проведен анализ экспериментальных результатов сжатия дисков плоскими наковальнями Бриджмена в рамках безразмерного анализа. Было показано, что зависимость коэффициента мультипликации (М) от толщины сжатого диска имеет экстремальный характер, аналогичный зависимости коэффициента мультипликации от исходной высоты контейнера аппаратов высокого давления с деформируемым уплотнением. Совпадение характера указанной зависимости для этих двух случаев рассматривается как доказательство механического подобия этих двух процессов. Было предложено использовать сжатие материала наковальнями Бриджмена как модель поведения материала при сжатии в АД с деформируемым уплотнением.

Ключевые слова: *безразмерный анализ, сжатие диска, наковальни Бриджмена, коэффициент мультипликации, контейнер, аппарат высокого давления, деформируемое уплотнение.*