

УДК 62-987

Г. С. Бобровничай, канд. техн. наук

Университет штата Рио де Жанейро, Кампус дос Гойтаказес, Бразилия

К ВОПРОСУ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ОБЪЕМА КАМЕРЫ СЖАТИЯ В МНОГОПУАНСОННЫХ АППАРАТАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В статье приведены данные анализа конструкций многопуансонных аппаратов высокого давления с точки зрения увеличения объема камеры сжатия. Из анализа следует, что объем можно увеличить, применяя гидростатический аппарат с подвижными боковыми пуансонами.

Ключевые слова: многопуансонный аппарат, гидростатический аппарат, высокое давление, боковой пуансон, камера сжатия, объем камеры сжатия.

Введение

В начале XX в. получение синтетических алмазов относилось к задачам мировой науки. Как известно, в 30-х годах американский физик В. П. Бриджмен [1] пытался создать устройство высокого давления, которое обеспечивало бы необходимые параметры синтеза алмаза в соответствии с опубликованной теорией О. И. Лейпунского [2]. Однако такие параметры не были получены даже в малых объемах, особенно нагрев. В то же время потребность в синтетических алмазах увеличивалась, особенно в послевоенные годы. В этой связи в промышленно развитых странах начали работать над созданием аппарата высокого давления (АВД) с объемом камеры сжатия, достаточным для промышленного синтеза алмаза, кубического нитрида бора и других сверхтвёрдых материалов.

Первый АВД оригинальной конструкции создали шведские инженеры фон Платен и Андерс Кампе на фирме «ASEA» [3] и с его применением впервые в мире был осуществлен синтез алмаза [4]. Спустя полтора года американский физик Г. Холл так же осуществил синтез алмаза, применив своеобразный АВД одноосного сжатия [5].

Анализируя конструкции двух типов АВД, с помощью которых был осуществлен синтез алмаза, следует отметить следующее.

Шведские ученые создали промышленное оборудование для синтеза алмаза, которое включает пресс специальной конструкции усилием 140 МН, многопуансонный АВД трехосного сжатия с камерой сжатия объемом 400 см³, а так же необходимые устройства для механизации процесса синтеза. Это было удивительное и дальновидное решение, направленное на увеличения объема камеры сжатия.

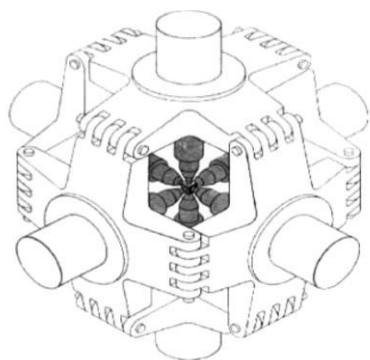


Рис. 1. Схема АВД с приводом каждого пуансона от одного пресса (гидроцилиндра)

Американские специалисты разработали более простой АВД одноосного сжатия для синтеза алмаза, который можно было использовать с прессом любой конструкции при минимальных затратах на механизацию процесса синтеза. Стоимость такого оборудования и материалов была ниже по сравнению со шведской, а производительность выше, что показало преимущества АВД одноосного сжатия. Естественно, промышленники приступили к внедрению американской разработки. Даже фирма «ASEA» участвовала в этом, создав специальные прессы усилием 100 МН [4].

Начиная с 1960 г. научно-исследовательские работы по созданию АВД с увеличенной камерой сжатия ускорились. Рассматривая шведский вариант

АВД, специалисты в области высоких давлений стремились разработать аппарат, который удовлетворял бы потребности как науки, так и производства.

Интересно проанализировать деятельность в это время фирмы «Бародженикс» по созданию многопуансонных АВД [6, 7]. Фирма предложила конструкции установок с кубической камерой сжатия (рис. 1), которые должны были удовлетворить развивающуюся промышленность по производству алмазов.

Каждый пуансон работает от одного гидроцилиндра силой 27 МН. С позиций механики эти устройства способны создавать высокое давление. Устройства имели сравнительно небольшие габаритные размеры и были удобны в обслуживании.

Фирма «Бародженикс» попыталась спроектировать аппараты с удлиненной камерой сжатия, в которых применяли гидроцилиндры, расположенные вдоль боковых пуансонов (рис. 2), либо использовали гидростатическое давление (рис. 3). Первое техническое решение не было осуществлено из-за невозможности осуществить точное регулирование давления в цилиндрах, второе – из-за низкой стойкости оболочки, удерживающей высокое гидростатическое давление.

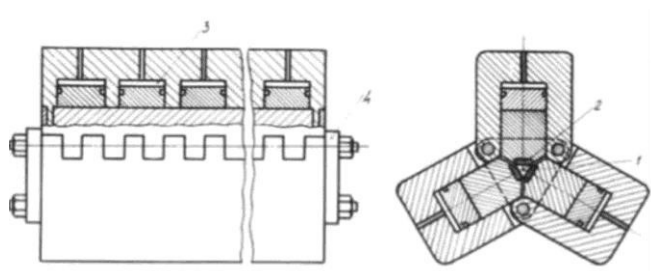


Рис. 2. Схема АВД с удлинённой камерой сжатия и приводом боковых пуансонов от нескольких гидроцилиндров

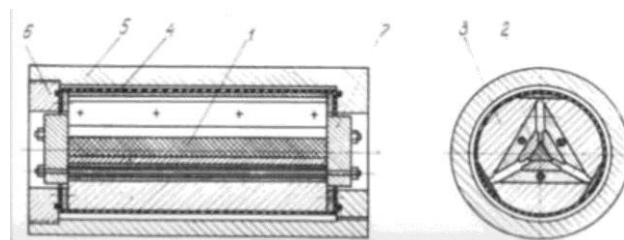


Рис. 3. Схема АВД с гидростатическим приводом боковых пуансонов

В результате научно-исследовательских работ по созданию многопуансонных АВД в этот период сформулировали требования к конструкциям АВД для синтеза алмаза: проста в изготовлении и обслуживании, гарантия увеличения камеры сжатия, повышения стойкости силовых деталей.

Результаты проведенного анализа показали, что конструкции многопуансонных АВД можно разделить на три основных типа [8–18]: привод всех пуансонов осуществляется от одного пресса; привод каждого пуансона осуществляется только от отдельного пресса (одного цилиндра); гидростатический привод для всех пуансонов.

Каждый из указанных типов АВД имеет преимущества и недостатки, а также ограничения.

Цель настоящей работы – на основе анализа мирового опыта создания конструкций АВД определить перспективные с позиций увеличения рабочего объема конструкции, показать особенности и возможности некоторых из них и на базе этих предварительно полученных результатов попытаться создать модель АВД, позволяющую увеличивать объем камеры сжатия.

Результаты исследования

Многопуансонные АВД с приводом от одного пресса. Несмотря на более сложную конструкцию, многопуансонные аппараты этого типа (рис. 4, 5) обладают рядом преимуществ по сравнению с АВД одноосного сжатия – обеспечивают более однородное поле давления в камере сжатия, позволяют создавать более высокие давления, имеют увеличенный объем камеры сжатия.

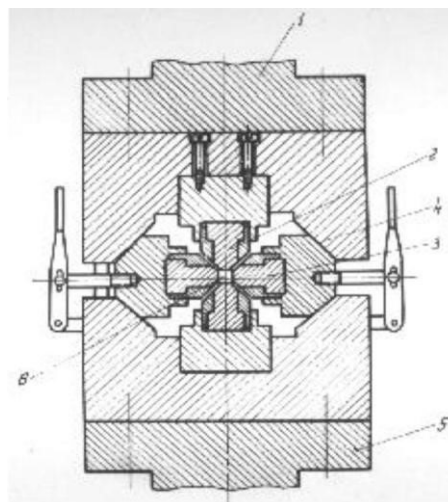
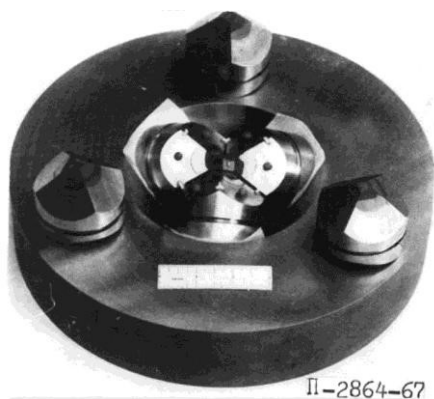


Рис. 4. Общий вид шестипуансонного АВД с тремя пуансонами внизу и сверху для одного пресса
Рис. 5. Схема шестипуансонного АВД для одного пресса

Размеры камеры сжатия таких АВД связаны с усилием пресса, расположением пуансонов относительно силовой оси пресса и конструкцией пуансона. Объём камеры сжатия зависит также от материала пуансонов и передающей давление среды.

Учитывая, что мировой промышленностью в прошлом веке созданы гидропрессы с усилием 300, 500, 650 и 750 МН [19, 20], можно понять, что ограничений относительно усилия пресса для этого типа АВД не существует. Возможность увеличения объёма камеры сжатия зависит от других причин. Одним из серьёзных недостатков АВД такой конструкции с увеличенной камерой сжатия является увеличение их размеров. Результаты исследований последних 10 лет показали, что меняя материал пуансона и улучшая его свойства, объём камеры сжатия можно довести до 100 см^3 , увеличивая при этом усилие пресса.

Создание АВД с камерой сжатия в форме параллелепипеда для такого АВД теоретически возможно, но потребует существенного изменения конструкции пресса.

Многупуансонные АВД с гидроприводом для каждого пуансона (рис. 6, 7). Первый аппарат такого типа, созданный в 1957 г. Холлом [21], показал достоинства и недостатки многупуансонных АВД. Аппарат содержал камеру сжатия в форме тетраэдра, образованную четырьмя пуансонами из твёрдого сплава. На наружном торце каждого пуансона устанавливался гидроцилиндр, связанный с помощью тяг с другими цилиндрами, образуя станину устройства, которая не обладала необходимой жёсткостью. Другой недостаток аппарата - неравномерность хода пуансонов.

В кубическом АВД, разработанном в ИФВД [22], отмечены похожие недостатки.

В созданных фирмой «Бародженикс» [6, 7] тетраэдрических и кубических АВД станина имеет высокую жёсткость, так как опорные плиты пуансонов имеют достаточную толщину и связаны с другими плитами стержневыми жёсткими шарнирами. Проблему синхронного сближения пуансонов к центру камеры сжатия решили применив мультипликатор-дозатор.

Максимальное усилие, создаваемое цилиндром для тетраэдрического устройства, не превышало 20 МН, а длина ребра тетраэдра составляла 76 мм.

После испытания тетраэдрического устройства фирма создала кубический АВД с усилием на каждом пуансоне 27 МН. Камера сжатия имела форму куба с ребром длиной 47 мм и объёмом 100 см^3 . Фотографии этого устройства на позициях работы и установки-разгрузки контейнера показаны на рис. 6 и 7. Как видим, устройство имеет рациональные размеры, однако разборка-сборка станины на каждой операции синтеза резко снижает производительность процесса.

Несмотря на сложности при изготовлении и эксплуатации рассматриваемых АД, в мире наблюдается, особенно в Китае, массовое использование таких аппаратов усовершенствованной конструкции.

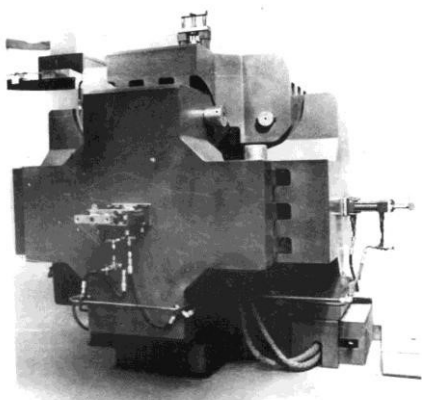


Рис. 6. Кубический АД (сила, приложенная к каждому пуансону – 27 МН)

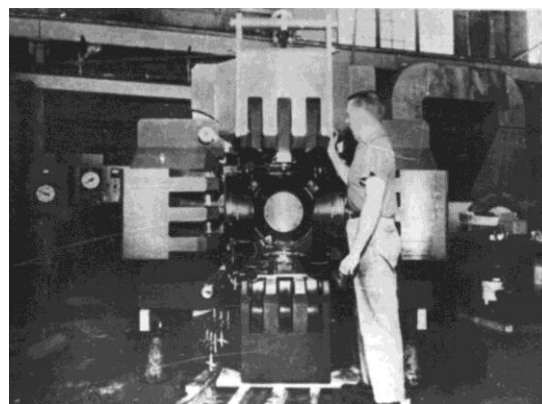


Рис.7. Общий вид кубического АД фирмы «Бародженикс» во время смены пуансонов после синтеза алмаза

Основываясь на опыте создания АД фирмой «Бародженикс», можно понять, что объём камеры сжатия напрямую зависит от прочности соединения опорных плит станины, их жёсткости, работоспособности каждого цилиндра. Так как для привода пуансонов можно использовать давление жидкости в гидросистеме 200–250 МПа, базой для расчета приложенной силы и габаритов АД служит диаметр гидроцилиндра, прочность корпуса которого зависит от условий скрепления (обмотанный или составной).

Максимальное усилие, которое может быть применено для одного пуансона, в настоящее время не может превышать ~100 МН. При этом усилении проблематично создать работоспособные пуансоны. Если сравнить указанное выше усилие на одном пуансоне с величиной, достигнутой в промышленном производстве, равной 25 МН (пресс мод. QMWG850 компании Luoyang Qiming Superhard Material Co., Ltd. (Китай)), то можно констатировать медленный прогресс в совершенствовании прессов рассматриваемого типа.

В современных конструкциях шестипуансонных АД (рис. 8, 9) их масса уменьшилась, упростилось обслуживание и повысилась безопасность.



Рис. 8. Китайский вариант кубического АД с гидроцилиндрами силой по 25 МН



Рис. 9. Современный АД с шестью пуансонами компании «NOVATEK» (США)

Многопуансонные АД с гидростатическим приводом. Созданное фон Платеном [3] устройство высокого давления послужило толчком к разработке новых конструкций АД этого типа.

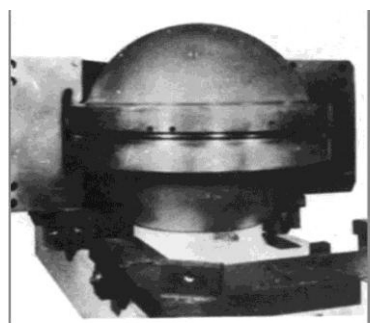


Рис. 10. Общий вид аппарата типа разрезная сфера фирмы «Бародженикс»

Фирма «Бародженикс» в 1960 г. представила собственную конструкцию кубического аппарата типа «разрезная сфера» (рис. 10) с гидростатическим приводом пуансонов без использования пресса [10].

Это позволило уменьшить металлоёмкость устройства и улучшить условия обслуживания. Однако объём камеры сжатия был гораздо меньше, чем у АД фон Платена. Попытку увеличить объём АД предприняла фирма «Макгро», которая создала аппарат с камерой сжатия объёмом $83,8 \text{ см}^3$. Идеи улучшить конструкцию АД с гидростатическим приводом получили поддержку научного мира в США, СССР, Японии и Европе. Так в Японии создали ряд АД [23, 24], обозначив их как «разрезная сфера», однако такие конструкции разрабатывались только для исследовательских работ.

Попытку увеличить объём АД предприняла фирма «Макгро», которая создала аппарат с камерой сжатия объёмом $83,8 \text{ см}^3$. Идеи улучшить конструкцию АД с гидростатическим приводом получили поддержку научного мира в США, СССР, Японии и Европе.

Так в Японии создали ряд АД [23, 24], обозначив их как «разрезная сфера», однако такие конструкции разрабатывались только для исследовательских работ.

В СССР разрабатывать аппарат типа разрезной сферы начали в 1964 г. во ВНИИМЕТМАШ. В 1966 г. был изготовлен АД с внешним диаметром разрезной сферы, равным 90 мм (рис. 11). Аппарат был оснащён внешней резиновой оболочкой и имел объём камеры сжатия $2,8 \text{ см}^3$. АД был способный функционировать как с прессом, так и без пресса (рис. 12) [25] при гидростатическом давлении 500 МПа, образуя 25% объёма без деформаций сдвига под давлением 7,7 ГПа.



Рис. 11. Аппарат типа разрезной сферы в разобранном виде

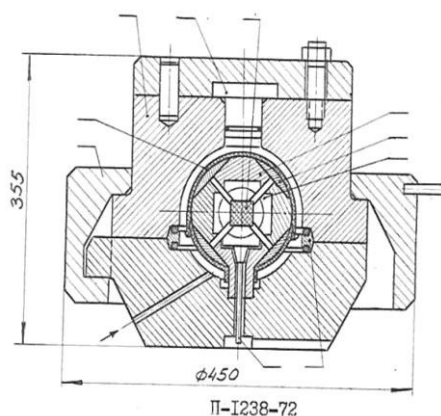


Рис. 12. Схема аппарата типа разрезной сферы

Исследования работоспособности аппарата показали, что его конструкция обеспечивает синхронное сближение пуансонов к центру кубической камеры сжатия. К недостаткам устройства относятся контакт персонала с маслом при обслуживании аппарата, трудности с герметизацией оболочки и нагревом.

На основании результатов экспериментов установили, что максимальный объём камеры сжатия аппарата может достичь 302 см^3 . Описание модернизированного аппарата приведено в работе [26].

В Институте Геологии и Минералогии СО РАН работы по созданию АД типа разрезной сферы были начаты в 1974 г. и привели к созданию серийно изготавливаемых аппаратов «БАРС» [27] (рис. 13).

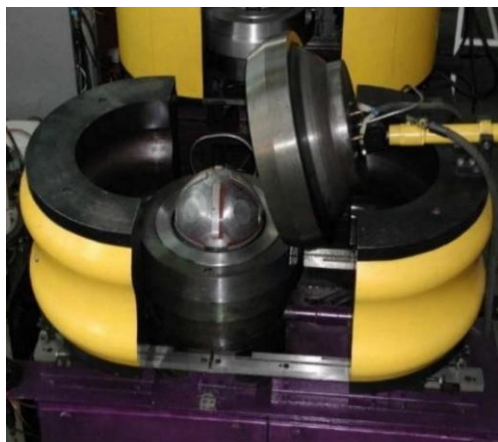


Рис. 13. Аппарат типа БАРС с диаметром 300 мм

длины камеры сжатия к её поперечным размерам, а также то, что два вертикальных пуансона являются неподвижными. Следовательно, при достаточной стойкости вертикальных пуансонов, к ним можно приложить силу до 150 МН.

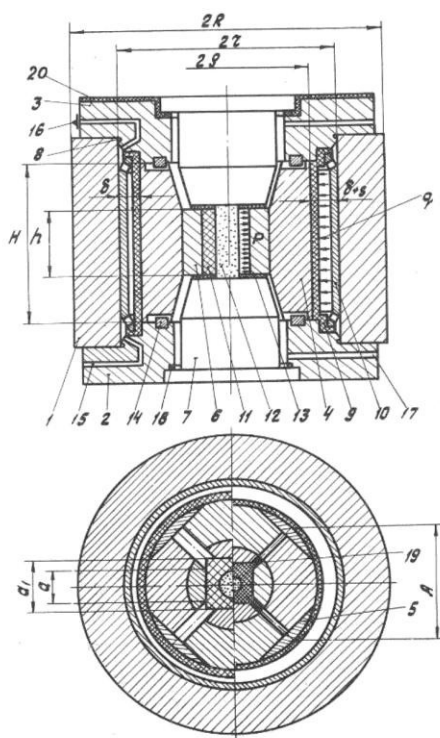


Рис. 14. Схема АД с удлинённой камерой сжатия

Сдерживание сил, действующих на боковые пуансоны от гидростатического привода, реализуется контейнером, который может быть скреплен обмоткой из высокопрочной стальной ленты [30]. Длина камеры сжатия в таком АД определяется длиной контейнера. Следовательно, размеры камеры сжатия зависят от возможностей промышленности создать контейнер для давлений от 250 до 500 МПа, что возможно при адекватных конструкциях пресса и контейнера.

В настоящее время в лабораториях и на заводах мира функционирует около 300 аппаратов «БАРС» со сферой диаметром 300 мм [28].

Исследователи планируют увеличить диаметр сферы до 500 мм и более, что позволит намного увеличить объем камеры сжатия. Одним из недостатков при использовании таких аппаратов останется сложность их обслуживания.

К гидростатическим АД относятся также устройства, у которых только боковые пуансоны сжимают деформируемый контейнер [29]. Из-за указанной особенности камера сжатия таких АД может иметь удлинённую форму с поперечным сечением в виде треугольника, квадрата и др.

Основной характеристикой аппаратов рассматриваемого типа является большое отношение длины камеры сжатия к её поперечным размерам, а также то, что два вертикальных пуансона являются неподвижными. Следовательно, при достаточной стойкости вертикальных пуансонов, к ним можно приложить силу до 150 МН. Сдерживание сил, действующих на боковые пуансоны от гидростатического привода, реализуется контейнером, который может быть скреплен обмоткой из высокопрочной стальной ленты [30]. Длина камеры сжатия в таком АД определяется длиной контейнера. Следовательно, размеры камеры сжатия зависят от возможностей промышленности создать контейнер для давлений от 250 до 500 МПа, что возможно при адекватных конструкциях пресса и контейнера.

Проанализируем действующие АД с удлинённой камерой сжатия.

Схема АД с камерой сжатия, образованной боковыми пуансонами в виде стержней, приведена в работе [31]. Так в АД может быть применена длинная камера сжатия минимального сечения. Подобная конструкция АД представлена в патенте [32]. Авторы разработки считают, что создание специального контейнера решит проблему внедрения аппарата.

Создание АД с удлинённой камерой сжатия. Для исследования возможности создания промышленного образца АД с удлинённой камерой сжатия спроектировали и изготовили аппарат [34] (рис. 14), рассчитанный для применения на прессе мод. ДО043 усилием 20 МН с рабочим пространством 600×650 мм [21]. Пуансоны изготовили из твёрдого сплава марки ВК6 и быстрорежущей стали.

Аппарат состоит из контейнера 1, нижней 2 и верхней 3 крышек, между которыми помещены четыре сектора 4. Зазоры между секторами защищены щитками 5. На внутренней поверхности секторов прикреплены четыре боковые наковальни 6, которые изготовили как из твёрдого сплава марки ВК6, так и из быстрорежущей стали.

Вместе с торцевыми поверхностями пробок 7 боковые наковальни образуют камеру сжатия в форме параллелепипеда. Уплотнение жидкости, создающей гидростатическое давление, осуществляется кольцами 8 и эластичной оболочкой 9. Края оболочки зажаты между крышками и оправкой 10. Деформируемый контейнер 11 с ячейкой 12 расположен между наковальнями и пробками. Прокладки 13 служат изоляторами. Шпонки 14 направляют секторы. Жидкость под давлением подаётся по каналу 15. Тройник 16 служит для установки манометра. Охлаждающая жидкость подается по каналу 17, который герметизирован кольцами 18.

Аппарат работает следующим образом. Устройство устанавливается между плитами пресса, который осуществляет осевое сжатие аппарата. При этом зазор между торцами секторов и крышек отсутствует. Насосом создаётся рабочее давление жидкости в полости контейнера. При этом секторы перемещаются к вертикальной оси аппарата, сдавливая деформируемый контейнер с образованием запирающего заусенца между наковальнями. После создания высокого давления ячейка нагревается от прямого пропускания тока. Прокладка 20 служит изолятором.

Технические данные нового АД: диаметр контейнера – 550 мм, высота контейнера – 470 мм, максимальное давление в контейнере – 500 МПа, масса АД – 800 кг., ход выдвижения – 750 мм., размеры камеры сжатия – 25×25×70 мм, объём камеры сжатия – 43,8 см³.

Предварительные испытания АД проводились на образцах из алюминия при давлении в контейнере до 350 МПа. Контрольная разборка показала, что все детали, в том числе оболочка, не имеют признаков разрушения. Было отмечено, что толщина заусенцев деформированного параллелепипеда не одинакова, что было обусловлено дефектом направляющих шпонок.

Результаты экспериментов показали, что АД не может создавать давление больше 5,5 ГПа из-за дефектов изготовления твердосплавных наковален. Наковальни из быстрорежущей стали вследствие низкой твёрдости (57 HRC) начинали деформироваться при давлении 4,2–4,5 ГПа.

Лучший вариант выполнения смежных поверхностей боковых пуансонов и пробок – наклон под углом 45° к оси аппарата.

Результаты синтеза алмаза в АД с использованием растворителя системы Mn-Ni при давлении 5 ГПа, температуре 1250 °С и продолжительности нагрева 10 мин. показал следующее.

При варианте с плоским контактом получаются алмазы зернистостью 20–400 мкм почти по всей высоте деформированного контейнера, а вариант наклонного контакта позволил получать достаточное количество алмазов на половине высоты реакционной ячейки, а на концах алмазы не росли.

Выводы

1. Объём камеры сжатия зависит от конструкции АД и возможностей промышленности изготовить соответствующие силовые детали.
2. Пресс для каждого пуансона может иметь усилие до 50 МН.
3. Гидростатические аппараты для всех пуансонов будут иметь вертикальное усилие до 35 МН. Промышленность может изготовить многопуансонные АД с гидростатическим приводом и любой камерой сжатия, учитывая предел вертикальной силы.
4. Многопуансонные АД с гидростатическим приводом позволяют увеличить объём камеры сжатия, что дает возможность повысить производительность при синтезе и изготавливать детали из сверхтвёрдых материалов и керамики.
5. Длина камеры сжатия АД определяется длиной контейнера и его расположением в прессе. Внутренний диаметр контейнера зависит от создаваемого в нём давления и способов его крепления.
6. Боковые наковальни, выполненные из твёрдого сплава, могут быть составными по высоте, что увеличивает длину камеры сжатия и её объём.
7. Увеличенная длина камеры сжатия снижает силу тока и мощность нагрева обрабатываемого материала, что увеличит стойкость пуансонов.

У статті приведено аналіз конструкцій багатопуансонних апаратів високого тиску з точки зору збільшення об'єму камери стиснення. Показано, що об'єм камери стиснення можна збільшити, застосовуючи гідростатичний апарат з рухомими бічними пуансонами.

Ключові слова: багатопуансонний апарат, гідростатичний апарат, високий тиск, бічний пуансон, камера стиснення, об'єм камери стиснення.

The article presents the analysis of designs many multi-anvil high-pressure equipment in terms of increasing the compression chamber volume. From the analysis implies that the volume can be increased by applying a hydrostatic machine with movable side anvil.

Key words: many multi-anvil equipment, hydrostatic apparatus, high-pressure, side anvil, compression chamber, chamber volume.

Литература

1. Бриджмен П. В. Физика высоких давлений. – М; Л., 1935.
2. Лейпунский О. И. Об искусственных алмазах // Успехи химии.–1939.–Вып. 8. – С. 1519–1534.
3. Платен Б. Многопоршневой аппарат высокого давления и высоких температур // Современная техника сверхвысоких давлений. – М.: Мир, 1962. – С. 191–216.
4. Lundblad E. Syntetiskadiamanter // Sårtryck ur Kosmos.–1965. – P. 81–95.
5. Hall H. T. Ultra high pressure, high temperature apparatus: the “Belt” // Rev. Sci. Instrum. – 1960. – 31, N 2. – P. 125–131.
6. Zeitlin A. Equipment for ultra high pressure // Mechanical Eng. – 1965–1987, N 12. – P. 13–20.
7. Zeitlin A. Brayman J., Boggio F. Isostatic and hydrostatic equipment to industrial application // ASME publication. – 1965.
8. Bundy F. Basic principles of construction of high pressure apparatus // Modern Very High Pres. Techn. // Ed. by R. H. Wentorf – Butterworth’s, London, 1962. – Chap. 1. – P. 9–44.
9. Spain J. L. Ultra high pressure apparatus and technology // Equipment design, materials and properties / J. L. Spain; Ed. By J. I. Spain & J. Paauwe: –N. Y. Dekker, 1977. – P. 395–423.
10. Zeitlin J. B. Die technic des ultrahochdrucks // VDI Zeitschrift. – 1962. –104. P. 1–29.
11. Kawai N. Accurate Characterization of the high pressure environment // N. Kawai; Ed. By Lloyd. – 1971. – P. 326–330.
12. Witterman W. J. Cylindrical high pressure apparatus // Phil. Res. Repts. – 1963. – P. 447–463.
13. Wanagel J., A Ruoff A. L. split sphere 60000 ton press. Pressure science and technology // Proceed of the sixth international conf. Boulder, Colo, – 1977. – V. 2. N J. – 1979. – P. 840–846.
14. Fishlock A. Ultra high pressure A. // Metalworking. – 1963. – N 7. – P. 12–23.
15. Zeitlin A. High pressure technology. // Scie. American. – 1965. – N 5. – P. 38–42.
16. Irifune T., Hibbenson W. O., Ontani E., Ringwood A. T. Modified split sphere guide blok for pareiol operation of multianvils apparatus //High temp., high press. – 1987. – P. 525–529.
17. Kawai H. A static high pressure apparatus with tapering multi-pistons forming a sphere // Proc. of Jap. Acad., – 1966. – 42. – P. 385–388.
18. Pat. USA 3239886, C1 18-16. Apparatus for ultra high pressure / M. Turner. – publ. 15.03.66.
19. Бобровнический Г. С., Курович А. Н. Прессы для производства сверхтвёрдых материалов // 60 лет научной и производственной активности ВНИИМЕТМАШ – М. Наука 2005. – т. 1. – С. 445–456.
20. Бобровнический Г. С. Беловол В. С. Новые гидравлические прессы для производства высокотвёрдых материалов // Новые машины и технологии дляковки. – М.: ВНИИМЕТМАШ, 1991. – С. 15–24.
21. Vereshagin L. F. Progress in very high pressure research // Proc. Conf. at Bolton Landing, Lake George, N. Y. June 1960. – N. Y., 1961.
22. Barogenics Ultra-high pressure apparatus for solid state physical research // Bulletin. B- Barogenics Inc. N. Y., 1966.
23. Kawai N., Endo S. The generation of hydrostatic ultra-high pressure by split sphere apparatus // Rev. Sci. Instr. – 1970.–41. – P. 1178–1781.
24. Kawai N. Accurate Characterization of the high pressure environment // Ed. By Lloyd. – NBS Spec. Publ. – 1971. – P. 326.

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