

6  
А-39

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ  
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

---

На правах рукописи

С. К. ДОЛУХАНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
НАУКИ И ТЕХНИКИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ  
ТЕХНИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И ПОЛУЧЕНИЯ  
АЛМАЗА И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ)

(Специальность № 580: история науки и техники)

Автореферат  
диссертации, представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

МОСКВА — 1971



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ  
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

---

На правах рукописи

С. К. ДОЛУХАНЫН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
НАУКИ И ТЕХНИКИ (НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ  
ТЕХНИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И ПОЛУЧЕНИЯ  
АЛМАЗА И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ)

(Специальность № 580: история науки и техники)

Автореферат  
диссертации, представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

МОСКВА — 1971



XXIV съезд КПСС поставил задачу ускорения научно-технического прогресса, укрепления связи науки с производством, обеспечения всех звеньев системы «наука—производство». В этой связи большое значение приобретает исследование процесса взаимодействия науки и техники. Для анализа характера исторического развития взаимодействия науки и техники целесообразно подвергнуть рассмотрению какую-либо отдельную область техники, генезис которой был связан с научно-техническим прогрессом в целом. Одной из таких областей техники является техника высоких давлений. Это — техника будущего, связанная с высокими параметрами, так как научно-технический прогресс немыслим без знания общих закономерностей поведения веществ при этих параметрах.

В директивах XXIV съезда КПСС отмечается, что при решении вопросов технического совершенствования производства необходимо предусмотреть создание и освоение новых наиболее экономических материалов, развитие и внедрение в производство новейших методов упрочнения металлов и других промышленных материалов. Однако эти вопросы невозможно решать без применения техники высоких давлений. Поэтому роль техники высоких давлений в науке и в промышленности в настоящее время огромна.

До сих пор нет обобщающей работы, в которой бы рассматривались прошлое, настоящее и будущее техники высоких давлений, поэтому в настоящей диссертации поставлена следующая задача — исследовать вопросы истории развития техники высоких давлений от зарождения до наших дней, проанализировать соотношение научного и практического моментов в развитии методов получения их, и на основании данного исследования попытаться раскрыть механизм взаимодействия науки и техники.

Техника высоких давлений относительно молода, но уже существуют физика высоких давлений, химия высоких давлений; под высоким давлением проводятся геофизические исследования. Успешное же решение чрезвычайно трудной проблемы искусственного создания алмазов стало возможным только благодаря достижениям в области физики твердого тела и техники эксперимента при очень высоких давлениях. Развитие техники высоких давлений привело к созданию нового метода и новой технологии обработки металлов способом гидравлического выдавливания (гидроэкструзии),



которые позволяют обрабатывать хрупкие материалы и металлы, не поддающиеся другим видам обработки.

В данном исследовании мы не рассматриваем развитие техники, не требующей особенно высокого давления (например, гидравлических насосов и прессов, историю создания паровых двигателей и др.). Вообще, высокие давления можно определять как все давления, превышающие атмосферное. Однако в данном исследовании мы ограничимся высокими давлениями, получаемыми в специальных камерах высокого давления. Давление в камерах может создаваться различными методами: разнообразными насосами, гидравлическими прессами или компрессорами. История развития камер высокого давления представляет самостоятельный интерес. Исторический анализ развития техники высоких давлений позволяет раскрыть роль данной области техники в науке и производстве по мере роста достижимых давлений. Этот вопрос до настоящего времени изучен мало. Краткий исторический обзор техники высоких давлений в хронологическом порядке дан в монографии П. В. Бриджмена «Физика высоких давлений» (1930). Имеются отдельные статьи, книги, посвященные вопросам техники высоких давлений и исследованиям веществ под высоким давлением. Работы, цитируемые в соответствующих главах диссертации и затрагивающие в той или иной степени вопросы, касающиеся техники высоких давлений, отражают, как правило, отдельные небольшие фрагменты этой истории. В большинстве случаев они освещают только некоторые моменты развития техники высоких давлений в XIX и в XX вв. Вообще, истории развития техники высоких давлений известное внимание уделялось всегда теми исследователями, научные интересы которых находились в сфере непосредственного решения вопросов техники высоких давлений. Признавая достоинства этих работ, необходимо однако заметить, что историко-техническая сторона в такого рода работах служила более всего лишь общим фоном или введением к обсуждению проблемы и содержала в себе много неточностей. В связи с этим представляется целесообразным обобщить большой исторический опыт, накопленный в области техники высоких давлений, и критически проанализировать развитие техники высоких давлений на разных исторических этапах.

Целью диссертационной работы является:

1. Выявить, систематизировать и обобщить материалы, относящиеся к развитию техники получения высоких давлений. Воссоздать цельную научно-обоснованную картину истории техники получения высоких давлений от зарождения до наших дней и установить основные этапы ее развития.

2. Показать роль техники высоких давлений в научных исследованиях и в промышленности.

3. Показать влияние требований науки и производства на развитие техники получения высоких давлений.

4. На основе полученного материала рассмотреть ряд общих вопросов взаимодействия науки и техники.

В данной работе использованы произведения классиков марксизма-ленинизма, советская и иностранная научно-техническая литература, патенты, авторские свидетельства, отчеты и архивы Института физики высоких давлений АН СССР.

Настоящая работа состоит из введения, двух разделов, заключения и выводов. Во введении показана роль техники высоких давлений в науке и практике, охарактеризовано состояние вопроса, обоснована необходимость проведения исследования, дан критический анализ источников, использованных при исследовании.

## Раздел I. Основные этапы развития техники высоких давлений.

При изучении истории отдельной области техники необходимо установить закономерности технического развития, на основании которых составляется обоснованная периодизация. За основу периодизации развития техники высоких давлений автором диссертации взяты диапазон давлений и области применения, оказавшие наибольшее влияние на развитие техники высоких давлений на данном этапе. Всего было выделено три этапа, которые тесно связаны с уровнем развития машиностроения: I этап — предыстория техники высоких давлений, II этап — развитие и практическое применение техники высоких давлений, III этап — современный этап развития техники высоких и сверхвысоких давлений. Первый раздел состоит из трех глав.

Глава. I. Предыстория техники высоких давлений (до начала XX в.). Существование воздуха известно человеку с древнейших времен. Воздух долгое время считали чем-то нематериальным. Но уже Аристотель (384—322 до н. э.) полагал, что воздух имеет вес. Хорошо зная всасывающее действие разреженного пространства, он обобщил этот факт в виде принципа «природа не терпит пустоты» — Г. Галилей (1564—1642), вычислил силу «боязни пустоты» —  $0,811 \text{ кг/см}^2$ , значение которой близко к действительной величине атмосферного давления —  $1,033 \text{ кг/см}^2$ . Начиная с этого времени, мысль о существовании давления воздушной атмосферы была высказана и подтверждена многими крупными учеными (Д. Б. Балиани, Р. Декарт, Г. Бертис, Е. Торричелли, Б. Паскаль) и понятие атмосферного давления начало находить общее признание.

С открытием атмосферного давления многим ученым приходила мысль использовать его для выполнения полезной работы (Д. Папен, 1680; Т. Севери, 1698 и т. д.), создать давления, превышающие атмосферное, и проводить исследования веществ под давлением.

На данном этапе высоким считалось давление от 100 до 3000 атм., которое получалось в основном в стеклянных капиллярах посредством воздушных насосов. Поэтому в первую очередь под давлением исследовались газы, как наиболее легко сжимаемые



вещества, а затем жидкости. В это время было проведено много заслуживающих внимания работ, как например, эксперименты Я. Перкинса (1819), Г. Паррота и Э. Ленца (1833), Наттерера (1850), Кальете (1870), Д. И. Менделеева (1874), Е. Х. Амага (1869—1893), Г. Таммана (1893—1928) и т. д. Имеются данные некоторых экспериментаторов, где давления оценивались уже 70—80 тыс. кг/см<sup>2</sup> (А. Муассан, М. Ли). Но, конечно, это завышенные оценки давлений, что стало известно из последующего анализа применявшихся ими методик.

Правильная оценка полученных давлений играет решающую роль в интерпретации результатов исследований. Поэтому в связи с изучением атмосферного давления возникли и приборы, измеряющие их. Для измерения давлений выше атмосферного стали применять различные манометры. Наиболее простым из них является ртутный манометр, с помощью которого измерялись давления до 300—400 кг/см<sup>2</sup> (например, ртутный манометр Д. И. Менделеева, 1872). С возрастанием давлений использование ртутного манометра становилось невозможным и наиболее перспективным оказался поршневой манометр. Измерение давления посредством манометра со свободным поршнем (неуплотненным) было проделано в 1833 г. Г. Парротом и Э. Ленцем. В 1893 г. Е. Х. Амага ввел второй свободный поршень и измерял этим манометром давления до 3000 кг/см<sup>2</sup>. С этого времени принцип неуплотненного поршня широко вошел в практику измерения и до настоящего времени поршневые манометры сохраняют свое ведущее положение в этой области.

Разнообразие проведенных экспериментов очень характерно для данного этапа, т. к. исследования в этой области только начинались и, естественно, ученые предпочитали поиски новых эффектов поведения различных веществ под давлением, систематическим исследованиям в определенном направлении. Создание же высоких газовых давлений, в свою очередь, оказалось чрезвычайно трудной задачей.

**Глава II. Развитие и практическое использование техники высоких давлений (первая половина XX в.).** По существу, только на этом этапе началось развитие техники высоких давлений. Вторым этапом характеризуется развитием качественно новой техники — техники более высоких давлений, где диапазон давлений увеличился в 10—15 раз по сравнению с первым этапом. Большую роль в таком скачке давлений сыграло создание более прочных материалов и развитие технологии машиностроения, поскольку сложность обработки и сборки аппаратов высокого давления была одним из препятствий для создания соответствующей техники. В главе прослежена история техники высоких давлений, полученных только статическим методом, т. е. таким, при котором давление действует непрерывно и сохраняет постоянную величину неопределенно долгое время. Максимальные давления, получаемые в лабораториях, составляют при статических нагрузках, на данном этапе

примерно 50—100 кбар. Одной из первых конструкций камер высокого давления, применяемых в начале данного этапа, являлась система цилиндр—поршень. Величина давлений в ней строго зависит от применяемых материалов и от методов «внешней поддержки», позволяющих получать давления численно выше предела прочности конструкционных материалов. Здесь отмечено влияние развития артиллерийского дела на технику высоких давлений. Некоторые методы упрочнения орудий были использованы для упрочнения цилиндров высокого давления. Эти методы давали увеличение прочности сосудов примерно вдвое против нормальной и позволяли получать давления до 50 кбар. П. В. Бриджмен в 1935 г. увеличивал внешнюю поддержку пропорционально увеличению внутреннего давления. В таком случае стальной цилиндр мог дольше выдерживать давления до 50 кбар. Более высокие давления (до 100 кбар) Бриджмен получил в 1940 г. при погружении своего аппарата в жидкость, в которой создавалось гидростатическое давление до 30 кбар. Такие же давления он получал в 1942 г. в двухступенчатой камере типа цилиндр—поршень, где одна камера высокого давления помещалась в другую, так что на каждую камеру действовала только разность давлений. Можно было бы получать очень высокие давления, увеличивая число ступеней. Но сложность изготовления и очень маленький размер внутренней камеры (даже при двух ступенях) делали этот метод непригодным. Для получения более высоких давлений необходимо было отказаться от системы цилиндр—поршень, т. к. при увеличении давления происходило разрушение поршня, даже если он был изготовлен из твердого сплава. В 1941 г. Бриджмен, впервые получил высокие давления (порядка 100 кбар и более) на очень маленьких поверхностях, поддерживаемых окружающими их массивными объемами, в которых напряжения значительно меньше, т. к. площадь нагруженной поверхности была в 10 раз меньше площади поперечного сечения тела поршня. В главе рассмотрен этот метод, сущность которого заключается в использовании принципа массивной поддержки и принципа сжимаемого уплотнения, когда исследуемое вещество в виде тонкого диска, окруженного уплотнением, помещается между двумя параллельными плоскостями пуансонов-наковален. Благодаря этой массивной поддержке, концы конуса без существенной деформации могли выдержать напряжения гораздо большие, чем предел прочности материала. В дальнейшем этот принцип стал основой для создания современных камер высокого давления.

В главе также рассмотрены наиболее характерные методы измерения высоких давлений, применяемые на данном этапе. Сложность геометрической формы камеры, неравномерность распределения нагрузки по элементам аппаратуры, отсутствие строгой гидростатичности, и другие причины не позволяют теоретически определить функциональную зависимость между давлением в рабочей камере и осевой силой, действующей на рабочий инструмент аппаратуры высокого давления. В связи с этим измерения давле-



ния в рабочей камере производятся экспериментальным путем. Основным методом измерения давления на данном этапе являлось измерение силы, действующей на поршень известного поперечного сечения, которое осуществляется с помощью манометра со свободным поршнем. Поршневые манометры с неуплотненным поршнем явились наиболее точными приборами для измерений давлений в пределах от 1 до 3000 кг/см<sup>2</sup> с высокой степенью точности. Для измерения больших давлений необходимо было устранить утечку в поршне при помощи специальных конструкций. Так, например, благодаря специальной конструкции уплотнения поршня Л. Ф. Верещагин и Б. С. Александров в 1939 г. создали абсолютный манометр на 10000 кг/см<sup>2</sup>.

В большинстве исследований измерение давлений удобнее было производить относительными манометрами, т. к. они менее громоздки и не подвержены утечке, например, пружинными манометрами, работа которых основана на принципе деформации различного рода упругих элементов, преобразуемой с помощью передаточных механизмов во вращательное движение указателей. Предел их измерения от 0,5 до 10000 кг/см<sup>2</sup>. Они имеют ограниченную точность. Неудобства относительных манометров, основанных на измерении упругих свойств материалов, заставили экспериментаторов обратиться к так наз. электрическим эффектам давления. Измерение давления посредством наблюдения изменения электрического сопротивления вещества в 1903 г. было предложено Е. Лиззелем, который обнаружил линейное увеличение сопротивления сплава манганина с увеличением давления до 3000 кг/см<sup>2</sup>. Бриджмен (1930) расширил диапазон работы с манганиновым манометром до 30000 кг/см<sup>2</sup>. Кроме манганина Бриджмен исследовал изменение электрического сопротивления ряда веществ и обнаружил резкое, скачкообразное изменение объема и электросопротивления для цезия, висмута, таллия и бария при определенных давлениях. Значения давлений, при которых происходят скачки электросопротивления этих металлов были использованы Бриджменом в качестве реперных точек для калибровки камер высокого давления.

Во втором этапе было обращено особое внимание на создание высоких температур одновременно с высокими давлениями. Высокие температуры понижают прочность материала камер высоких давлений, поэтому необходимо было разработать такие методы создания температур, которые не оказывали бы столь вредного воздействия на камеру высокого давления, и найти новые материалы, выдерживающие высокие температуры. Метод внешнего обогрева, широко применяемый в первом этапе, позволял в лучшем случае получить около 1000° С. Для получения более высоких температур в камерах высокого давления на данном этапе оказался наиболее приемлемым метод внутреннего нагрева, впервые предложенный Парсонсом в 1888 г. Этот метод позволил поддержать температуру 3000° С в течение нескольких часов.

Во втором этапе, когда стало возможным достижение в лабо-

рациях давлений порядка десятка тысяч атмосфер и высоких температур, возник серьезный интерес к исследованиям веществ под высоким давлением. Были проведены исследования поведения веществ в трех различных его состояниях: газообразном, жидком и твердом. В XX в. интерес к свойствам газов при высоких давлениях еще более возрос. Возрос также и диапазон газовых давлений. В результате проведенных работ был накоплен обширный экспериментальный материал: были изучены физические свойства многих технически важных газов и некоторых их смесей в области температур до 400° С. Из наиболее интересных работ можно отметить исследования П. В. Бриджмена, Ж. Бассе, Н. Д. Зелинского, И. Д. Кричевского с сотрудниками, В. Н. Ипатьева, Д. С. Циклиса и др. Если в предыдущем этапе под высоким давлением в основном исследовались газы, иногда жидкости, то с развитием техники получения высоких давлений на данном этапе начали исследовать твердые тела. К этому времени стала ясна и важна роль высоких давлений, как инструмента в исследованиях физических свойств твердого тела в состоянии высокой плотности. Проведение исследований при всестороннем сжатии позволило получить информацию, существенную как для развития представлений о твердом теле, так и для решения важнейших прикладных проблем. Исследования сжимаемости элементов под давлением до 100 тыс. кг/см<sup>2</sup>, проведенные П. В. Бриджменом, Г. Тамманом, Р. Б. Джекобсом, Л. Ф. Верещагиным, А. И. Лихтером, Е. Г. Поняговским и др. привели их к выводу о возможности существования скачков объема, связанных не с обычными полиморфными переходами, при которых происходит изменение симметрии кристаллической решетки, а с изменением распределения электронов в атоме. При исследовании веществ «методом смещающегося поршня», который в основном использовался до 1939 г., невозможно было объяснить ряд наблюдаемых явлений. В 1939 г. Р. Б. Джекобс впервые сконструировал камеру для рентгеноструктурных исследований кристаллических веществ под давлением до 5000 кг/см<sup>2</sup>. В 1956 г. Л. Ф. Верещагин и И. В. Брандт разработали камеру для съемок рентгенограмм при давлениях до 30000 кг/см<sup>2</sup>. Только рентгенограмма, снятая с вещества, находящегося под давлением, позволила различить характер фазовых переходов, получить сведения об изменениях параметров кристаллической решетки вещества при высоких давлениях и т. д. Поэтому наиболее важным методом измерения величины сжимаемости кристаллического вещества при высоких давлениях оказался рентгенографический метод. В 1956 г. Л. Ф. Верещагиным и А. И. Лихтером была составлена сводка зависимости сжимаемости элементов периодической системы от атомного номера для давлений 1 кг/см<sup>2</sup>, 30000 кг/см<sup>2</sup> и 100000 кг/см<sup>2</sup>, из которой видно, что общий характер периодичности сохраняется вплоть до самых высоких давлений, только с повышением давления сужается полоса сжимаемости. Большой интерес на данном этапе представляют исследования электропроводности под давлением, проведенные П. В. Бриджменом,



А. Михельсом, Ж. Бассе, Б. Лазаревым и Л. Каном и др. Они наблюдали появление металлических свойств у неметаллов (фосфор, сера, селен, кремний и т. д.).

По мере развития исследований в области физики высоких давлений оказалось, что число новых, неожиданных явлений растет по мере увеличения давлений, достигаемых при исследованиях. Например, исследования пластичности и прочности металлов под гидростатическим давлением, впервые начатые П. В. Бриджменом в 1943 г., показали, что изменение механических свойств под давлением весьма значительно. С повышением давления увеличивается пластичность и прочность металлов. Металлы сохраняют также те высокие показатели прочности, которые они получают при деформации под давлением. Это открытие Бриджмена имело большое значение для представления о природе пластичности и прочности металлов. Исследование хрупких материалов также выявило, что с увеличением гидростатического давления пластичность и прочность на разрыв постепенно возрастают. Этот эффект давления в дальнейшем был использован при выдавливании под давлением стержней и проволоки.

В главе показан процесс использования техники высоких давлений в промышленности. В начале XX в. давление, как часть технологического процесса, было впервые введено в производство. Наиболее широкое распространение высокие давления (порядка 300—2000 атм) нашли в химической промышленности при синтезе аммиака и метанола, гидрогенизации каменного угля и тяжелых углеводородов, полимеризации этилена и т. д. Интенсификация основных технологических операций за счет применения высокого давления являлась на данном этапе одним из основных приемов увеличения мощности химических заводов. Видную роль в СССР сыграл в предвоенные годы Государственный институт высоких давлений, а позже Государственный институт азотной промышленности (лаборатория И. Р. Кричевского), работы которых легли в основу многих новых технологических процессов, используемых в химической промышленности.

Применение высоких давлений в химической промышленности выдвигало ряд новых задач, в основном, связанных с созданием соответствующей аппаратуры непрерывного действия (автоклавы, компрессоры).

Высокие давления прочно заняли весьма важное место среди методов активного воздействия на скорость и направление химических реакций, протекающих с уменьшением объема, поэтому высокие давления все шире и шире внедряются в химическую технологию.

Однако необходимо подчеркнуть, что уровень достигнутых давлений на данном этапе в лабораторных условиях во много раз выше того уровня, на котором находилась промышленность. Это объясняется тем, что очень высокие давления все еще применяются на стадии лабораторных исследований.

**Глава III. Современный этап развития техники высоких и сверхвысоких давлений (с 50-х годов XX в.).** Вторая половина XX в. характеризуется началом современной научно-технической революции, достижения которой повлияли на развитие техники высоких и сверхвысоких давлений. Современный этап развития техники высоких давлений отличается глубокими качественными преобразованиями и имеет наиболее существенные особенности. Первая особенность — проникновение техники высоких давлений во многие отрасли промышленности. Вторая особенность — расширение круга вопросов, решаемых при исследовании поведения веществ под давлением. Толчком для развития техники высоких давлений послужили отдельные проблемы науки (физика твердого тела, геофизика, астрофизика и т. д.) и техника (получение искусственных алмазов, создание новых технологических методов обработки материалов и т. д.). Существенный прогресс в величине достигнутых давлений в рассматриваемом нами этапе был достигнут при переходе от гидростатических давлений в газообразных и жидких средах к квазигидростатическому давлению в пластическом твердом теле. Первые квазипластическое давление создавал Бриджмен в 1945 г., используя пластические твердые вещества в качестве передающих давление сред, как, например, пиррофиллит, катленит. Также существенный прогресс в конструировании аппаратуры высокого давления был достигнут П. В. Бриджменом в 1941 г. при замене в конструкциях напряжений растяжения напряжениями сжатия. Благодаря этому конструктивному изменению стало возможным, при изготовлении сосудов высокого давления использование твердых сплавов, прочность которых при сжатии в три-четыре раза больше прочности при растяжении. Употребление более прочных материалов и создание конструкций, где имеется возможность уменьшить напряжения в ответственных деталях установок, позволили создать аппараты, выдерживающие давления 200000 кг/см<sup>2</sup> и более. Бриджмен создал конструкцию камеры-«наковальни», которая послужила прототипом для большого числа установок высокого давления, в которых сохранены основные принципы, разработанные в этом методе. Г. Холл в 1958 г. перенес методику Бриджмена из плоскости в пространство. Применяв вместо двух пуансонов четыре, расположенных по осям тетраэдра, он значительно увеличил объем вещества, подвергнувшегося высоким давлениям. Данная установка позволяет получать 100000 кг/см<sup>2</sup> при температуре около 3000°. Дальнейшее усовершенствование метода наковален Бриджмена позволило Г. Холлу в 1960 г. создать камеру, где давление 200000 кг/см<sup>2</sup> при температуре около 2000°С получалось довольно просто. Этот аппарат, известный под названием «белт», является логическим завершением последовательного ряда аппаратов, ведущих свое начало от наковален Бриджмена.

В Институте физики высоких давлений АН СССР, независимо от зарубежных исследователей под руководством академика Л. Ф. Верещагина в 1960 г. была создана аппаратура с кониче-



скими поршнями для получения высоких давлений, отличающаяся от «белт» большими рабочими объемами. В этом же институте в 1960—70 гг. в оригинальных по конструкции камерах были получены давления до 200000—300000 кг/см<sup>2</sup> при температурах порядка 2000°С.

В результате быстрого развития техники высоких давлений за последние десятилетия значительно повысился интерес к точному измерению высоких давлений. В рассматриваемом этапе измерение высоких давлений невозможно было осуществить с помощью поршневых манометров, т. к. предел его измерения (25—30 кбар) был существенно ниже применяемых на практике давлений. Это обстоятельство побудило исследователей к поискам иных методов измерения высоких давлений, к попытке установления истинной шкалы давлений по реперным точкам некоторых металлов. Для этого широко использовался метод калибровки давления при помощи регистрации скачков, определяемых по изменению электросопротивления или объема, при полиморфных переходах в висмуте, таллии, барии, цезии и др. металлах при известном давлении. Кеннеди и Ламори в 1961 г. внесли поправку в шкалу высоких давлений и первыми предположили, что скачки электросопротивления и объемные скачки в металлах вызываются одними и теми же фазовыми превращениями. Балчан и Дрикамер в 1961 г. приняли попытку установить реперные точки на участке шкалы от 100 до 500—600 кбар. Правильность шкалы Кеннеди и Ламори была подтверждена в 1966 г. экспериментами, проведенными Л. Ф. Верещагиным и Е. В. Зубовой. В Институте физики высоких давлений АН СССР также проводились работы по уточнению и определению ряда реперных точек на шкале давлений выше 100 кбар.

В данной главе мы рассматриваем совершенно новую область применения техники высоких давлений — гидроэкструзию металлов и сплавов. В Институте физики высоких давлений АН СССР был обстоятельно изучен процесс гидроэкструзии металлов жидкостью под давлением до 100000 кг/см<sup>2</sup>. Здесь впервые было предложено и осуществлено использование данного метода при обработке металлов. Этот совершенно новый метод обработки металлов способом гидравлического выдавливания (гидроэкструзия) позволяет обрабатывать хрупкие материалы и металлы, не поддающиеся другим видам обработки, и имеет следующие преимущества перед способом механической экструзии: значительно снижается общее усилие прессования, увеличивается прочность деформированного металла, улучшаются остаточные пластические свойства и т. д. После выдавливания жидкостью высокого давления типично хрупкие металлы теряют свою первоначальную хрупкость, причем, с увеличением гидростатического давления прочность и пластичность деформированного металла возрастают. Поэтому успешное освоение метода жидкостной экструзии можно считать большим промышленным достижением.

Нами показано, что на данном этапе роль техники высоких давлений в развитии физики высоких давлений особенно возросла. В современной физике высоких давлений существует много разнообразных направлений. К ним относятся: исследование сжимаемости твердых тел (в том числе исследования обратимых и необратимых полиморфных превращений), получение искусственных материалов с заранее заданными свойствами (сверхпроводящих, сверхтвердых, магнитных материалов и так далее), исследование спектров квазичастиц и спектров излучения в твердом теле, исследование микроскопических механических свойств вещества при помощи ультразвука, геофизические исследования и т. д. В настоящее время возможны измерения практически всех физических свойств твердого тела под всевозрастающим давлением, которые до сих пор не изучались.

В современном этапе максимальные статические давления, получаемые в лабораториях, составляют примерно 500 кбар. Но в условиях современной научно-технической революции, когда наука развивается быстрыми темпами, в целом ряде случаев техника высоких давлений не обеспечивает потребности научных лабораторий и новых видов производств. Расширение интервала статических давлений зависит от применения более прочных материалов при высоких давлениях и от методов конструирования камер высокого давления. К числу основных задач, стоящих перед техникой высоких давлений, относятся, — создание камер сверхвысокого давления (выше 500 кбар) большого объема и создание соответствующей техники измерения достигнутых давлений и температур.

## Раздел II. Использование техники высоких давлений для синтеза алмаза и некоторых новых материалов

В данном разделе прослежены наиболее важные моменты развития методов искусственного получения алмазов и других новых материалов под высоким давлением, а также установлены отдельные исторические факты, представляющие интерес для анализа соотношения научного и практического.

Создание новых высокопрочных материалов с заранее заданными свойствами для надежной работы в разнообразных отраслях науки и техники — одно из важнейших научно-технических проблем современности. Физика высоких давлений, возникшая на стыках наук и соответствующих областях техники, призвана решить эту важнейшую задачу. Синтез алмазов — это совокупность химических, физических, физико-химических процессов, которые носят сложный характер, и не может быть осуществлен без наличия современной техники высоких давлений.

Долгое время одним из побуждений к исследованиям в области высоких давлений была попытка искусственно синтезировать алмаз. Многолетние научные эксперименты и теоретические расчеты привели ученых к мысли, что синтез алмаза возможен толь-



ко при наличии высоких давлений (порядка 100 кбар) и высоких температур (1500°С). На современном уровне машиностроения, когда необходимость в наличии алмазных инструментов исключительно возросла, получение алмазов искусственным путем стало весьма актуальной задачей. Поэтому промышленность ряда стран начала финансирование дорогостоящих исследовательских программ в этой области. Наиболее серьезные работы велись в Швеции (фирма «Всеобщая компания электричества»), США (фирма — «Главная электрическая компания») и в некоторых других странах. В СССР эта исследовательская программа была поручена Институту физики высоких давлений Академии наук СССР. Второй раздел диссертации состоит из двух глав.

**Глава IV. Искусственное получение алмазов (до 50-х годов XX в.).** Исследователей издавна привлекал вопрос происхождения алмаза и его искусственного воспроизведения, выросший в целую проблему огромного теоретического и экономического значения. С 1820 до 1950 г. было сделано много попыток синтеза алмазов. Многие из экспериментаторов претендовали на успех. Среди них наиболее интересными являются опыты В. Каразина (1823), Хэни (1890), К. Д. Хрущева (1890), А. Муассана (1893), Я. Парсонса (1918), Дж. Бассе (1934), П. В. Бриджмена (1941). Ранние сообщения о синтезе алмазов вновь были пересмотрены в 1914—1917 гг. немецким ученым Руффом, а позднее, в 1950 г. профессором Н. В. Седжвиком. Им было заключено, что синтез алмаза в лабораторных условиях никогда не был осуществлен. Только после вычисления термодинамических условий устойчивого существования обеих модификаций (алмаза и графита) выяснилось, что все попытки получения алмазов были сделаны в условиях, при которых графит являлся более устойчивой фазой, чем алмаз.

Было сделано много попыток определения термодинамических условий, при которых графит и алмаз находятся в равновесии (Россини, Джессоп, 1938; Лейпунский, 1939; Бассе, 1939; Архипов, 1959 и др.). К началу 50-х годов XX в. многочисленными теоретическими и экспериментальными работами было доказано, что наиболее прямым и естественным методом получения алмаза является кристаллизация углерода при таких условиях, когда алмаз представляет собой более устойчивую фазу, чем графит. Было установлено, что для получения алмаза кристаллизацию необходимо производить, при достаточно малых скоростях, чтобы не проявились преимущества графита, как кинетически более вероятной фазы; при таких давлениях, когда алмаз является более устойчивой фазой, чем графит; при таких температурах, когда возможна перестройка в кристаллической решетке.

Анализ термодинамических условий, проведенный в последние годы исследователями, показывает, что большие давления в совокупности с высокими температурами открывают новые возможности перед экспериментаторами, так как только при этих

условиях возможны реакции синтеза многих минеральных веществ, и даже веществ, до сих пор неизвестных.

**Глава V. Развитие методов получения синтетических алмазов.** Только после изучения всех путей природного возникновения алмазов, физико-химических свойств графита и алмаза, ученым удалось произвести синтез алмазов в лабораторных условиях. Алмаз и графит представляют две полиморфные модификации углерода, что было доказано еще в XVIII в. (исследования Лавуазье, 1789 и Теннана, 1797). Глубокое различие алмаза и графита, состоящих из одних и тех же элементарных частиц — атомов углерода, было установлено в 1913 г. Бреггами с помощью рентгеновских лучей. Это различие состоит в неодинаковом пространственном расположении атомов внутри кристаллов. Исследование физико-механических свойств графита и алмаза позволило понять то различие и сходство, которое существует между ними и на основе этого искать условия превращения графита в алмаз.

Первые достоверные сообщения о синтезе алмазов появились в 50-х годах XX в. В настоящее время существует несколько методов получения алмазов. Первый метод состоит в воздействии на исходное вещество высокого давления и высокой температуры (в присутствии катализатора и без него). Этим методом в 1954 г. впервые были синтезированы алмазы фирмы «Дженераль электрик» (США). Позднее появились сведения о синтезе алмазов в Южно-Африканской республике, Голландии, Франции, Англии и Японии. Существует еще два метода получения алмаза. Один метод заключается в воздействии на исходное вещество очень высокого мгновенного давления (ударной волны), которое получается в результате взрыва. Он был применен в 1960 г. в Стэнфордском исследовательском институте (США). Другой метод состоит в реакции между твердым телом и газом при относительно высоких температурах и необычно низких давлениях, порядка 2000 атм и ниже. Однако статический метод создания высоких давлений для получения синтетических алмазов является основным методом, применяемым в промышленности синтетических алмазов.

Сравнение алмазов, выращенных в лаборатории, с природными алмазами дает довольно-таки ясное объяснение тому различию и сходству, которое существует между ними. По твердости и некоторым физическим свойствам природные и синтетические алмазы практически неотличимы. Искусственные алмазы обладают очень высокой твердостью, они царапают даже наиболее твердые грани естественных алмазов. Поэтому синтетические алмазы смогли почти полностью заменить природные, применяемые в ряде областей техники. В настоящее время синтетические алмазы, пригодные для технических целей, изготавливаются уже в промышленных масштабах во многих странах мира. Роль синтетических алмазов в современном промышленном производстве исключительно велика.

В Советском Союзе алмаз был впервые синтезирован в лабораторных условиях в Институте физики высоких давлений АН СССР



под руководством профессора, ныне академика Л. Ф. Верещагина. К решению данной проблемы сотрудники института приступили в декабре 1958 г. Менее чем за два года, в 1960 г. ими было выполнено это задание. В сообщениях зарубежных фирм о синтезе алмаза в момент выполнения этой программы отсутствовали какие-либо сведения о технологии синтеза и об аппаратуре, в которой получали высокие давления. Сотрудники Института физики высоких давлений совершенно самостоятельно приступили к разработке камер высокого давления и методов синтеза алмаза. Ими были созданы различные варианты камер. Многочисленные поиски, наконец, привели к созданию очень оригинальной (совершенно отличной от всех зарубежных камер) камеры высокого давления, в которой впервые в СССР и был осуществлен синтез алмазов. В том же году Институт физики высоких давлений совместно с Институтом синтетических сверхтвердых материалов при Госплане УССР разработал промышленный метод получения синтетических алмазов. Метод, разработанный в СССР в Институте физики высоких давлений АН СССР наиболее экономичен из всех существующих в настоящее время в мире методов синтеза алмазов. Дальнейшие исследования в этой области привели в 1963 г. к синтезу балласа и в 1968 г. к синтезу карбонадо, которые также успешно нашли применение в промышленности.

Разработка промышленной технологии и освоение массового выпуска синтетических алмазов и инструмента из них позволили обеспечить потребность народного хозяйства нашей страны в этом самом прогрессивном инструментальном материале. Освоение выпуска синтетических алмазов в промышленных масштабах явилось мощным толчком к бурному росту выпуска алмазного инструмента и внедрению его в промышленность. В настоящее время синтетические алмазы выпускаются с большим диапазоном по прочности, что позволяет применять их с максимальной эффективностью для самых разнообразных материалов и видов обработки. Промышленное производство синтетических алмазов в Советском Союзе было организовано в 1962 г. и с того времени возросло в десятки раз. В настоящее время по объему производства синтетических алмазов Советский Союз перегнал многие индустриально развитые страны. Большим преимуществом отечественных синтетических алмазов является то, что они выпускаются с гарантированной прочностью, абразивной способностью, в то время, как ни в одной стране мира качество алмазных порошков по прочности, абразивной способности не регламентируется национальными стандартами.

В настоящее время синтетические алмазы в виде алмазно-абразивного инструмента, паст и свободных порошков используются во многих отраслях промышленности для различных видов обработки. Алмаз стал важным инструментальным материалом, благодаря своей большой твердости и износостойкости. Эти свойства позволяют использовать алмазы во многих важнейших техноло-

гических процессах, где у них нет ни конкурента, ни заменителей.

В главе отмечается, что аналогия в структуре и некоторых свойствах графита и гексагональной формы нитрида бора дала возможность исследователям сделать предположение о существовании кубической формы нитрида бора, поэтому первоначальные работы, целью которых было синтезировать кубический нитрид бора, проводились аналогично работам, приведшим к успешному синтезу алмаза. Кубическая форма нитрида бора («боразон») была открыта Венторфом в 1957 г. Им исследовались различные системы, содержащие бор и азот, в условиях высоких давлений и температур. В результате были получены кристаллы кубической формы в широком интервале давлений и температур.

Совершенно независимо от зарубежных исследователей в Советском Союзе впервые кубическая модификация нитрида бора была получена в Институте физики высоких давлений АН СССР в 1960 г. под руководством Л. Ф. Верещагина. В этом же институте были получены поликристаллические образования кубического нитрида бора заданной формы, которые в настоящее время проходят производственные испытания.

Несмотря на несколько меньшую твердость, кубический нитрид бора, наряду с алмазом, обладает уникальными абразивными свойствами и превосходит по износостойкости все известные абразивные материалы, применяемые в технике. Хотя кубический нитрид бора по твердости не имеет преимуществ перед алмазом, но благодаря высокой теплостойкости и отсутствию химического сродства с железом, он является прекрасным абразивным материалом для обработки инструментальных сталей и других труднообрабатываемых материалов. В главе также рассмотрена история синтеза плотной модификации кремнезема — коэсита под высоким давлением и температурой, полученный Л. Коэсом в 1952 г.

К настоящему времени в лабораторных условиях при высоких давлениях и температурах синтезированы многие минералы как гранат, пироксен, кианит и т. д. Главной задачей этих работ являлось изучение условий образования природных минералов, а также исследование возможностей искусственного их воспроизведения в промышленных целях.

**В заключение**, основываясь на анализе развития техники высоких давлений и синтезе новых материалов под давлением, рассматриваются некоторые общие вопросы взаимодействия науки и техники. Анализ развития техники высоких давлений позволил нам выделить эволюционные и революционные стадии почти на всех этапах. Например, в основном периоде идет постепенное усовершенствование данных технических средств (эволюция), что в конце концов приводит к коренным качественным изменениям, как замена напряжений растяжения напряжениями сжатия или переход от гидростатической передачи давления к квазигидростатической (революция).

Исследуя суть техники высоких давлений, мы обнаруживаем в



некоторых случаях, что техника высоких давлений становится основой различных видов производств, а в других — наука, развиваемая, благодаря технике высоких давлений, становится основой какого-либо производства. Такое постоянное переплетение науки и техники можно наблюдать во всем развитии техники высоких давлений. Мы установили, что характерным для развития техники высоких давлений является сотрудничество разных отраслей науки и техники в осуществлении одной и той же общей задачи — создания камер высокого давления. Трудно выделить отдельные области науки и техники, определяющие научно-техническую революцию в области техники высоких давлений. Здесь различные отрасли науки и техники взаимодействуют только в неразрывном комплексе. Поэтому в данном случае можно сказать, что взаимодействие науки и техники — одна из основных черт развития техники высоких давлений.

В процессе своего развития техника высоких давлений постоянно оказывает существенное влияние на развитие науки, выдвигая задачи и этим стимулируя научные исследования, обеспечивая науку необходимой техникой. В свою очередь, наука, получив необходимые «инструменты» для исследований, играет активную роль по отношению к технике, открывая закономерности природы и указывая возможности их практического применения.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного историко-технического исследования можно сделать следующие выводы:

1. Впервые проведено историко-техническое исследование одной из важнейших отраслей современной техники; воссоздана общая картина развития техники высоких давлений от зарождения до наших дней. На основании анализа фактического материала выявлены основные этапы развития техники высоких давлений, характеризующие становление новых форм ее развития. В результате нами разработана периодизация истории техники высоких давлений, за основу которой взяты области применения, оказывавшие наибольшее влияние на развитие техники высоких давлений, а также диапазон давлений, характерный для данного этапа. Нами установлено, что термин «высокое и сверхвысокое давление» — понятие относительное для каждого исторического этапа, так как высоким и сверхвысоким всегда считались давления, максимально достижимые на данном этапе развития науки и техники. Причем, величина давлений, достигаемая в камерах высоких давлений, на каждом этапе строго зависит от применяемых материалов, а также методов конструирования.

2. Использование техники высоких давлений сыграло важную роль в развитии физики, химии, физической химии, геофизики, астрофизики и других наук. В связи с этим в работе прослежено историческое развитие одной из важнейших областей науки — физики

высоких давлений и показаны основные результаты преимущественно экспериментальных исследований в этой области. Нами отмечена связь между ростом достижимых давлений на каждом этапе и возникновением научной задачи — изучать свойства определенного класса веществ и находить им практическое применение.

3. В диссертации доказано, что именно в 50-х годах XX в. техника высоких давлений вступила в новую фазу развития, характеризующуюся применением в самых разнообразных областях науки и производства, значительным повышением роли прикладных и теоретических исследований в создании техники высоких давлений. Нами показано, что история техники высоких давлений с конца XIX в. до середины XX в. почти неотделима от попыток искусственного получения алмазов, которые хотя и не увенчались успехом, но дальнейшее развитие их на более высоком научном уровне с применением современной техники привело к синтезу алмазов. Успешное же решение комплекса научных и технических проблем, которые и в данной конкретной области техники тесно взаимодействуют, привело к разработке промышленной технологии и освоению массового выпуска синтетических алмазов в промышленных масштабах, что, в свою очередь, явилось мощным толчком к бурному росту производства алмазного инструмента и внедрению его в промышленность.

4. В диссертации на примере истории получения искусственных алмазов раскрыто одно из главных направлений в современной научно-технической революции — создание новых материалов с заранее заданными свойствами. В работе показано, что в результате исследования поведения веществ под высоким давлением и температурой синтезированы минералы, не встречающиеся в природе, — кубический нитрид бора (боразон) и коэсит; получены новые материалы со сверхпроводящими свойствами, новые полупроводниковые материалы с высокой плотностью, новые магнитные материалы и т. д.; в результате исследований пластичности и прочности металлов и сплавов при высоких давлениях, были выявлены еще неиспользованные современной техникой возможности, таящиеся в материалах, которые мы применяем, а также был создан совершенно новый метод обработки металлов гидравлическим давлением — гидроэкструзия.

5. Нами сделана попытка раскрыть тенденции и перспективы развития техники высоких давлений, которые в основном заключаются в постоянном стремлении к повышению диапазона достигнутых давлений. Характерным для развития техники высоких давлений является сотрудничество различных отраслей науки и техники (физики, химии и т. д., машиностроения, металлургии, металловедения, радиотехники и электроники), которые обеспечивают технику высоких давлений необходимыми материалами для создания более прочных камер высокого давления, приборами и аппаратами для управления и контролирования процессов, происходящих в этих камерах. Такое сотрудничество науки и техники также позволяет



правильно объяснить многие явления, происходящие при высоких давлениях. Таким образом, в диссертации впервые устанавливается связь между техникой высоких давлений и разнообразными областями науки и техники.

6. Историко-технический анализ развития техники высоких давлений позволил нам восстановить ряд фактов, необходимых в настоящее время для правильного подхода ко многим проблемам, стоящим перед исследователями, а также избежать некоторые ошибки, допущенные предыдущими исследователями (как по конструктивному, так и по технологическим вопросам проектирования камер высокого давления). Историко-технический анализ также позволил на фоне развития мировой техники показать характер развития стечественной техники высоких давлений, в развитии которой ведущее место занимают работы основоположника физики высоких давлений в СССР академика Л. Ф. Верещагина, создавшего целую школу в этом направлении.

7. Нами установлено, что в развитии техники высоких давлений имело место тесное взаимодействие науки и практики, теории и эмпирии. До настоящего времени эмпирические методы занимают большое место в исследовании и конструировании камер высокого давления. Однако эмпирическая форма развития техники высоких давлений не исключает применения данных и методов фундаментальных наук. Эмпирические и теоретические методы применимы в технике высоких давлений, так как оба метода способствуют повышению эффективности технических средств. Темпы развития техники высоких давлений и науки, например, физики высоких давлений или химии высоких давлений, неодинаковы. Как видно из данного историко-технического анализа, на разных исторических этапах имело место различное соотношение уровней развития науки и техники (отставание и опережение). Историко-технический анализ показал, что развитие техники высоких давлений на всех этапах обуславливалось необходимостью решения конкретных практических задач.

Основное содержание диссертации изложено в следующих статьях автора:

1. Основные этапы развития техники высоких давлений. XIII научная конференция аспирантов и младших научных сотрудников Института истории естествознания и техники АН СССР, М., 1971, стр. 53.

2. Высокие давления в науке и в технике. «Наука и техника». Ереван, 1971, № 3, стр. 1—6 (на арм. яз.).

3. Техника высоких давлений в промышленности. «Промышленность Армении», Ереван, 1971, № 3, стр. 59—61.

4. Исследования пластичности и прочности металлов под давлением. «Наука и техника», Ереван, 1971, № 8, стр. 12—17 (на арм. яз.).

5. Тенденции и перспективы развития техники высоких давлений. Сб. «Комплексные проблемы науковедения». Киев (в печати).

6. Взаимосвязь науки и техники на примере развития техники высоких давлений. Сб. «Вопросы истории естествознания и техники», вып. 40 (в печати).

7. Роль техники высоких давлений в научных исследованиях. Сб. «Труды Ереванского политехнического института», Ереван, 1971, стр. 144.

8. Развитие техники измерения высоких давлений. Труды XIV научной конференции аспирантов и младших научных сотрудников Института истории естествознания и техники АН СССР. М., 1971, стр. 38.

Результаты работы были доложены автором на XIII и XIV научных конференциях аспирантов и младших научных сотрудников Института истории естествознания и техники АН СССР (Москва, 1970 и 1971 гг.).