

точностью до 0,01 мм. Во избежание появления зазоров заряд под давлением скреплялся с дюралевой подложкой клеем № 88, а подложка по бокам прижималась к массивному стальному основанию. Ширина заряда превышала толщину не менее чем в 4 раза, а длина в 10 раз и более. Детонация от капсюля передавалась через промежуточный ленточный заряд из пластичного ВВ на основе тэна.

Зависимость критической толщины детонационноспособного слоя $\Delta_{кр}$ от размера зерна μ , полученная для гексогена, представлена на рисунке. Границы заштрихованных прямоугольников соответствуют по вертикали наименьшим (из испытывавшихся) значениям толщины, когда детонация проходит по всей длине слоя ($\Delta_{мин}^+$),

и наибольшим, когда детонация затухает ($\Delta_{макс}^-$), а по горизонтали — размерам ячеек сит, между которыми отбиралась фракция. Полученная зависимость имеет обычный вид до $\mu \approx 150$ мкм, а затем выходит на плато, что можно связать с дроблением частиц при прессовании тонкого слоя.

Для сравнения различных ВВ по детонационной способности использовалась фракция 80—120 мкм, близкая к среднему размеру зерна штатных продуктов. Экспериментальные значения $\Delta_{макс}^-$ и $\Delta_{мин}^+$ и промежуточные значения $\Delta_{кр}$, выбранные в качестве критической толщины детонационноспособного слоя, представлены в таблице (ТНКС — тринитрокрезолат свинца). Критические толщины для тетрила ($\mu = 50 \div 150$ мкм) и азид свинца взяты соответственно из работ [3] и [4]. Приведенные значения $\Delta_{кр}$ в совокупности с параметрами инициирования взрыва на копре [5] позволяют оценить чувствительность ВВ к удару по величине наименьшего диаметра ударяющего тела ($D_{мин}$), способного вызвать взрыв в зоне удара с передачей детонации на окружающее ВВ. Таблица составлена в порядке уменьшения величины $D_{мин}$ или возрастания чувствительности ВВ.

Характеристики детонационной способности и чувствительности к удару для различных ВВ, мм

Взрывчатое вещество	$\Delta_{макс}^-$	$\Delta_{мин}^+$	$\Delta_{кр}$	$D_{мин}$
Тротил	1,29	1,39	1,34	≈ 170
Пикриновая кислота	0,89	0,93	0,91	≈ 83
Тетрил	—	—	0,55	≈ 45
Октоген	0,80	0,82	0,81	19
Гексоген	0,44	0,46	0,45	18
Тэн	0,21	0,23	0,22	8
ТНКС	0,34	0,36	0,35	—
Азид свинца	—	0,02	$\approx 0,02$	$\approx 0,1$

Поступила в редакцию
22/II 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Боболев. Докл. АН СССР, 1947, 57, 8.
2. Л. Н. Стесик, Л. Н. Акимов. ЖФХ, 1959, 33, 8.
3. А. Ф. Беляев, М. К. Сукоян. ФГВ, 1967, 3, 1.
4. F. R. Bowden, A. C. McLaren. Nature, 1955, 175.
5. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом. М., Наука, 1968.

ТЕРМИЧЕСКОЕ АКТИВИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА БОРА В ПЛОТНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ПРИ КВАЗИИЗЭНТРОПИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ СЖАТИИ

Г. А. Ададуров, Т. В. Бавина, О. Н. Бреусов
(Черноголовка)

Известно, что ударное сжатие графитоподобного нитрида бора (BN-I) до давлений свыше 120 кбар приводит к его необратимому превращению в плотную юрцитоподобную модификацию (BN-II) [1]. Значение высоких давлений для этого превращения не вызывает сомнения, однако относительная роль неизбежно связанных с ударным сжатием вещества факторов, таких как высокоскоростные деформации вещества во фронте ударной волны и резкое повышение температуры за фронтом, до сих пор не вполне ясна. Высказывались две точки зрения: 1 — быстрота перехода обусловлена интенсивными сдвиговыми деформациями [2, 3], 2 — высокая скорость

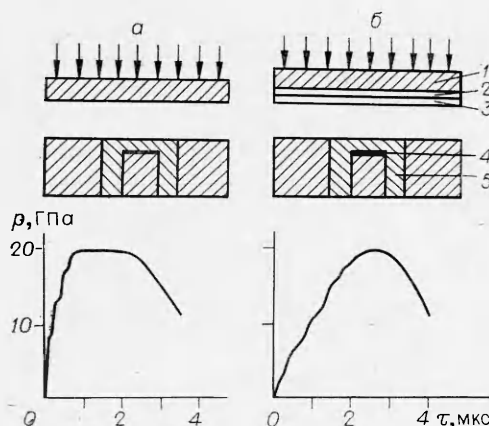


Рис. 1. Принципиальные схемы опытов и профили волн сжатия.

1 — медь; 2 — алюминий; 3 — плексиглас; 4 — образец BN-I; 5 — ампула.

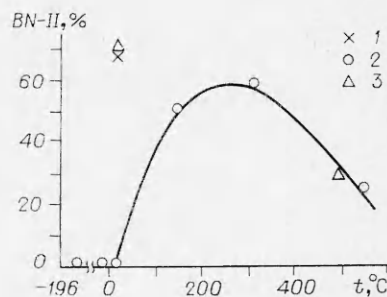


Рис. 2. Выход BN-II в зависимости от начальной температуры.

1 — ударное сжатие; 2 — квазиизэнтропическое сжатие; 3 — данные [7] по ударному сжатию.

туры исходного образца до температуры жидкого азота практически не влияло на профиль ударной волны [5], что, казалось бы, говорит в пользу второй точки зрения.

Квазиизэнтропическое сжатие позволяет существенно снизить температуру по сравнению с имеющей место в обычных экспериментах по сохранению ступенчатым ударным сжатием. Так, ударное сжатие акриламида в плоских ампулах до давления свыше 30 ГПа приводило к полной термической деструкции этого вещества. В то же время при квазиизэнтропическом сжатии в таких же ампулах до 50 ГПа термического разложения акриламида не наблюдалось [6]. Время воздействия в фазе сжатия и характер спада давления в этих экспериментах одинаковы. Изменена только ситуация на переднем участке волны, а именно, существенно уменьшены градиенты, прирост температуры за фронтом ударной волны, а время подъема давления до максимального значения увеличено. Таким образом, само квазиизэнтропическое сжатие не позволяет разделить роль сдвиговых деформаций и температурного фактора, так как ослабление первых неминуемо уменьшает и температуру за фронтом. Однако предварительный подогрев образцов позволяет достигать значений p и T , тождественных обычному ударному ступенчатому сжатию, и тем самым выделить влияние фронта ударной волны «в чистом виде».

Схемы экспериментов и профили волн сжатия представлены на рис. 1. Образцы BN-I с начальной плотностью 2,0 г/см³, диаметром 15 и толщиной 2 мм помещались в стальные ампулы сохранения с толщиной крышки 3 мм. Использовались две схемы нагружения. Обычное ударное ступенчатое сжатие (см. рис. 1, а) до давлений около 20 ГПа осуществлялось ударом медной пластины толщиной 6 мм, ускоренной детонацией заряда ТНТ плотностью 1,60 г/см³ на базе 10 мм. Квазиизэнтропическое сжатие (см. рис. 1, б) до тех же конечных давлений происходило в соответствии с [6] при воздействии составного ударника из плексигласа, алюминия и меди, имеющих толщину 1; 2,5 и 6 мм соответственно. В необходимых случаях ампулы с образцом предварительно нагревались или охлаждались до требуемой температуры, которая контролировалась термопарой, находившейся в контакте с образцом.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2. Для сравнения на этом же рисунке представлены данные [7], полученные в условиях предварительного нагревания при обычном ступенчатом нагружении до ударных давлений 20 ГПа. Если эксперименты проводились при нормальной или при пониженной начальной температуре, то замена ступенчатого ударного сжатия на квазиизэнтропическое предотвращает фазовый переход в нитриде бора. Однако в слое нитрида бора, непосредственно примыкающем к крышке ампулы, и в этом случае наблюдалось частичное образование плотной вюрцитоподобной модификации нитрида бора (за счет микрокумулятивных явлений), но степень превращения в слое не превышала 10—12%. В остальном же объеме образца степень превращения равнялась нулю. В пересчете на всю массу образца выход BN-II составляет около 0,1%.

В то же время предварительный нагрев образца всего до 150°C оказывается достаточным, чтобы протекал фазовый переход в нитриде бора и при квазиизэнтропическом сжатии. Как и ожидалось, достаточно сильный предварительный нагрев (до 550°C) и увеличение макропластических деформаций образца снижают выход плотных модификаций нитрида бора.

Ранее отмечалось, что ИК-спектры BN-I в образцах, претерпевших ударное сжатие и содержащих плотные фазы нитрида бора, так же как и в образцах отожженно-

го BN-II, отличаются от исходного BN-I характерным смещением полос поглощения [8, 9]. Существенно, что в опытах при квазиизэнтропическом сжатии при $t_0=20^\circ\text{C}$ и ниже это характерное смещение отсутствовало, т. е. содержащийся в них BN-I не является продуктом отжига плотной фазы, а фазовый переход вообще не имел место. В опытах, соответствовавших $t_0=150$ и 320°C , смещение полос поглощения было обычным, кроме образца с максимальной $t_0=550^\circ\text{C}$, где характер ИК-спектра изменился и отличался от других образцов. Причина этого пока не ясна, однако следует отметить, что полосы поглощения, соответствующие примесному BN-I, идентичны ИК-спектру BN-I, полученному плазмохимическим методом.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что простого повышения давления до 20 ГПа еще недостаточно для осуществления фазового перехода BN-I в плотные модификации нитрида бора за времена $\sim 10^{-5}$ — 10^{-6} с, необходимо и соответствующее повышение температуры. Другими словами, даже при высоких давлениях для превращения нужно обеспечить преодоление заметного активационного барьера.

Незначительность требуемого повышения температуры, возможно, объясняется следующим. При квазиизэнтропическом сжатии BN-I с $t_0=20^\circ\text{C}$ и ниже состояние образца соответствует метастабильной ветви ударной адиабаты BN-I, близкой к изэнтропе. Предварительный нагрев обеспечивает возможность превращения хотя бы части образца, что приводит к увеличению сжимаемости, увеличению поглощения энергии образцом, дополнительному повышению температуры и, как следствие, к самоускорению процесса в такой степени, что он успевает пройти за времена около 10^{-5} — 10^{-6} с. Можно предположить, что на фазовый переход влияет и увеличение времени «набора» давления при квазиизэнтропическом сжатии.

Полученные результаты позволяют понять результаты эксперимента, выполненного значительно раньше. Если подвергать обычному ступенчатому ударному сжатию в плоских ампулах образцы BN-I переменной толщины, то для образцов толщиной в несколько сотых миллиметра превращение в плотные фазы не отмечалось вплоть до давлений 40 ГПа. По-видимому, толщина образца в этих случаях была заметно меньше ширины фронта в массивном образце, и возникало квазиизэнтропическое сжатие. К тому же улучшался теплоотвод к стенкам ампулы, что также могло препятствовать фазовому переходу.

Таким образом, исследование образцов нитрида бора, полученных квазиизэнтропическим сжатием при различных начальных температурах, позволило показать, что фазовый переход графитоподобного нитрида бора в плотные модификации является термически активируемым процессом.

Авторы благодарят А. В. Нащекина за помощь в проведении эксперимента с нагревом.

*Поступила в редакцию
18/III 1980*

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Ададуров, О. Н. Бреусов и др. Докл. АН СССР, 1967, 172, 5, 1066.
2. А. Н. Дремин, О. Н. Бреусов. Усп. хим., 1968, 37, 5, 898.
3. Л. Ф. Верещагин, Е. В. Зубова и др. Докл. АН СССР, 1968, 178, 1, 72.
4. А. В. Курдюмов. ФТТ, 1975, 17, 8, 2469.
5. А. В. Ананьин, С. В. Першин и др.— В сб.: Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах. Черноголовка, 1968.
6. Г. А. Ададуров. Физика импульсных давлений. М., Наука, 1979.
7. И. Н. Дулин, Л. В. Альтшулер и др. ФТТ, 1969, 11, 5, 1252.
8. Г. А. Ададуров, Т. В. Бавина и др. Первый всес. симпозиум по импульсным давлениям. М., ВНИИФТРИ, 1974.
9. О. Н. Бреусов, А. Н. Дремин.— В сб.: Горение и взрыв. М., Наука, 1977.