

7. Б. Г. Дьячков, М. Г. Нефедова. Вопросы теории горения. Материалы семинара. М., «Наука», 1970, с 76—86.
8. Б. Льюис, Г. Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. М., «Мир», 1968.
9. Н. Н. Иноземцев. Изв. вузов, сер. «Авиационная техника», 1958, 4, 72.
10. H. F. Calcote. 26-th meeting of Propulsion and Energetics panel, AGARD, Pisa (Italy), 1965, p. 47—56.
11. Р. Фридман. Четвертый симпозиум (международный) по вопросам горения и детонационных волн. М., Оборонгиз, 1958, с. 175—178.

УДК 662.215.4

ВОЗБУЖДЕНИЕ ВЗРЫВА И КИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ВВ ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Н. П. Логинов, С. М. Муратов, Н. К. Назаров

При возбуждении взрыва твердых ВВ механическими воздействиями (удар, трение) определяющую роль играют локальные разогревы [1—3]. Причинами их образования могут быть прочностное разрушение и течение ВВ, трение по твердой поверхности, присутствие тугоплавких инородных частиц.

Для суждения о механизме возбуждения взрыва вибрационной нагрузкой эти сведения могут оказаться недостаточными в связи с ее существенными отличиями от однократного удара и быстрого сдвига. Вибрационная нагрузка имеет следующие особенности:

- 1) цикличность, т. е. многократное повторение циклов «нагрузка—разгрузка»;
- 2) несравненно большую общую продолжительность воздействия и почти одинаковую длительность одного цикла по сравнению с временем удара;
- 3) периодическая нагрузка вызывает изменение физико-механических свойств и характера деформации образца ВВ.

Из работ [4, 5] известно, что циклическая нагрузка, изменяющаяся по закону $\sigma = \sigma_0 \sin \omega t$, вызывает деформацию образца $\epsilon = \epsilon_0 \sin (\omega t - \varphi)$, запаздывающую по фазе на угол φ относительно напряжения из-за протекания релаксационных процессов. Здесь σ_0 , ϵ_0 — соответственно максимальное напряжение и деформация. При этом удельная работа деформации образца определяется по уравнению $A = \int \sigma \cdot d\epsilon$. Учитывая способность ВВ разлагаться под влиянием внешних воздействий при определенных температурах [6, 7], можно предположить, что существуют режимы вибрационного воздействия, которые могут вызвать термический распад ВВ. До настоящего времени этот вопрос практически не был изучен.

Эксперименты по возбуждению азид свинца, гексогена, перхлората аммония (ПХА), тротила и пороха Н показали, что взрыв ВВ возникает только при определенных параметрах вибрации, а на его возникновение, кроме природы ВВ, влияют физико-механические свойства и условия деформации образца.

Схема проведения испытаний образцов изображена на рис. 1. На подвижной площадке 2 установлен вибратор 1,

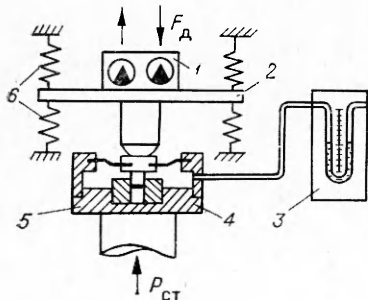


Рис. 1. Схема вибрационных испытаний.

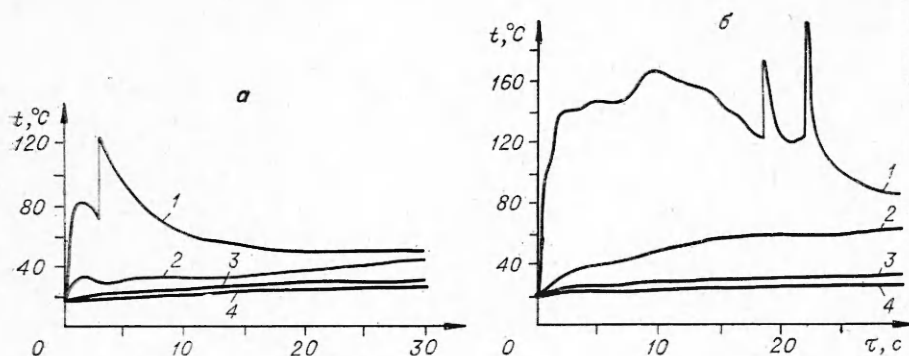


Рис. 2. Зависимость температуры образца от времени вибрации.
а) гексоген; б) порох Н: 1 — 110 Гц, 2 — 70 Гц, 3 — 55 Гц, 4 — 37 Гц.

совершающий вместе с ней периодические колебания между амортизаторами 6. Нагрузка, создаваемая вибратором, передается на роликовый приборчик 4. Статическая нагрузка на ВВ, помещенное в роликовый приборчик, задается с помощью гидравлического пресса перед включением вибратора. С целью регистрации кинетики разложения ВВ при виброн нагружении манометрическим методом роликовый приборчик помещается в герметичную бомбу 5, которая содержит подвижный ударник и связана с жидкостным манометром 3.

Изменение температуры образца при испытаниях регистрируется термопарой, введенной через центр нижнего ролика, а локальная температура определяется с помощью термокрасок, изменяющих цвет в определенном температурном интервале.

Вибрационная нагрузка с частотой 37 Гц и амплитудой 1 мм вызывает разогрев гексогена на 3°C. При повышении частоты колебаний с 37 до 110 Гц и величины усилий с 550 до 2000 кг/см² происходит повышение температуры гексогена до 90, перхлората аммония до 70, тротила до 70°C и баллиститного пороха Н до 110°C при начальной температуре 20°C в течение первых пяти секунд виброн нагружения.

Из рис. 2 следует, что гексоген при вибрации с частотой колебаний 110 Гц при температуре 90°C может разлагаться с переходом термического распада во взрыв. Причем индукционный период развития реакции до взрыва не превышает 10—15 с. Термическое разложение гексогена при изотермическом нагреве и такой же температуре происходит с несравненно меньшей скоростью и не переходит во взрыв [6]. Такие же невысокие температуры перехода термического разложения во взрыв при виброн нагружении зарегистрированы у тротила, перхлората аммония и баллиститного пороха Н. Особенностью химического разложения указанных ВВ под действием вибрации является переход во взрыв только в локальных участках заряда, а остальное ВВ остается почти непрореагировавшим.

Опыты с порохом Н показали, что переход термического разложения во взрыв наблюдается в течение небольшого промежутка времени (до 60 с) несколько раз, что регистрируется по зависимости температуры заряда от времени вибрации (см. рис. 2, б). В отдельных случаях температура пороха при вибрации с частотой 110 Гц повышается до 150°C и происходит полное разложение заряда с переходом во взрыв через 30—40 с.

Результаты опытов с указанными ВВ позволяют сделать предположение о том, что причиной локализации перехода медленного термического разложения ВВ во взрыв является неоднородность распределения температуры по заряду ВВ, которая не регистрируется термопарой. Последняя измеряет среднюю температуру заряда в центре на границе

контакта ВВ с металлом. Еще одной причиной перехода разложения ВВ во взрыв является дополнительное поступление энергии за счет неупругой деформации отдельных частей образца под действием вибронатрузки. Неупругая деформация ВВ при вибронатрузке может происходить после некоторого времени вибрации в результате снижения предела прочности и увеличения пластичности после многократного чередования циклов нагрузка — разгрузка и возрастания общей температуры ВВ. При этом для возникновения взрыва необходимо подвести к заряду меньшую энергию, поскольку он уже будет нагрет до более высокой температуры за счет рассеяния энергии вибрационного воздействия.

Подтверждением существования локальных разогревов в образце при вибрации с температурой до 250°C являются результаты опытов с термокрасками, введенными в образец ВВ. Наиболее высокую температуру имеют участки образца, контактирующие с поверхностью металла, а внутренние слои образца имеют меньшую температуру. В указанном случае на образование очагов разогрева в образце оказывают большое влияние процессы, происходящие на поверхности контакта с металлической поверхностью по аналогии со случаем, рассмотренным в работе [3].

Возбуждение взрыва азид свинца при вибронатрузке имеет некоторые особенности по сравнению с тем же явлением при ударе и быстром сдвиге. В частности, при вибрации с частотой 100—120 Гц, когда соотношение между амплитудой динамической нагрузки и статической нагрузкой примерно равно единице ($(P_d/2)/P_{ст} \approx 1$), происходит частичное разложение азид свинца без перехода в детонацию. (До настоящего времени отсутствовали сведения о возможности частичного разложения азид свинца без взрыва при механических воздействиях.) Осмотр зарядов азид свинца под микроскопом после окончания действия нагрузки позволил установить наличие слоя металлического свинца, прилегающего к торцам роликов и неразложившегося азид свинца в середине таблетки.

Особенность возбуждения ВВ при вибрационных воздействиях заключается в том, что происходит общий и локальный разогрев образца, сопровождающийся термическим распадом его локальных участков. Переход термораспада ВВ во взрыв может быть вызван дополнительным поступлением энергии за счет работы деформации образца при вибрации, либо в результате химической реакции, когда теплоприход превышает теплоотвод.

Анализ осциллограмм, зарегистрировавших изменение температуры ВВ во времени при вибрации, показал, что средняя температура образца стабилизируется уже через 5—10 с вибронатрузки и в дальнейшем не изменяется при определенных параметрах вибрации. На основании этого сделана попытка использовать известные кинетические уравнения, описывающие термораспад ВВ при изотермическом нагревании, для случая термического разложения ВВ при вибрационных воздействиях. Из работ [7—9] известно несколько уравнений, описывающих разложение твердых ВВ на разных стадиях протекания реакции. Наиболее общим из них является уравнение [10]

$$\alpha = 1 - e^{-Kt^n}, \quad (1)$$

где α — доля прореагировавшего вещества; K — постоянная, входящая в константу скорости химической реакции, определяется по уравнению

$$K = nk^{1/n},$$

где n — число последовательных стадий при образовании устойчивого начального центра новой фазы, t — время.

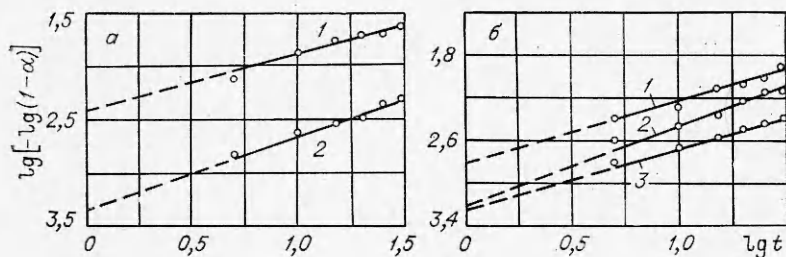


Рис. 3. Зависимость степени разложения ВВ от времени вибрации.
 а) перхлорат аммония: 1 — 70 Гц, 2 — 55 Гц. б) гексоген: 1 — 70 Гц, $A=2.2$ мм; 2 — 70 Гц, $A=1.5$ мм; 3 — 37 Гц.

При проведении экспериментов 0,1 г ВВ запрессовывался в роликовом приборе, который помещался в герметичную бомбу и подвергался вибрации. Степень разложения ВВ определялась манометрическим методом по повышению давления газов в бомбе во времени. Результаты опытов с гексогеном и ПХА приведены на рис. 3. Экспериментальные точки ложатся на прямую, т.е. реакция разложения гексогена и ПХА при вибрации описывается уравнением (1).

По известной методике [7] были рассчитаны энергии активации в диапазоне частот колебаний от 37 до 70 Гц для гексогена и ПХА. Энергия активации гексогена равна 43300, а ПХА — 11500 кал/моль. Эти значения оказались близки к известным энергиям активации гексогена и ПХА при изотермическом нагревании. Обнаруженное соответствие энергий активации при вибрации и термическом разложении ВВ служит доказательством того, что разложение ВВ при виброн нагружении идет по тепловому механизму.

Особенность разложения ВВ при виброн нагружении состоит в том, что оно осуществляется за промежуток времени порядка 1 мин при довольно низкой средней температуре ВВ (около 100°C) и при определенных параметрах вибрации может перейти во взрыв. Значительное ускорение термического разложения ВВ под действием вибрации, по нашему мнению, можно объяснить специфическими особенностями вибронной нагрузки.

Куйбышевский политехнический институт
 им. В. В. Куйбышева

Поступила в редакцию
 20/III 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Холево. В сб.: Теория ВВ. М., Оборонгиз, 1963, с. 5.
2. Ф. Боден, А. Иоффе. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. М., ИЛ, 1965.
3. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболов. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом. М., «Наука», 1968.
4. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский. Краткие очерки по физико-химии полимеров. М., «Химия», 1967.
5. Д. Ферри. Вязкоупругие свойства полимеров. М., ИЛ, 1963.
6. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М., «Наука», 1966.
7. В. В. Болдырев. Методы изучения кинетики термического разложения твердых веществ. Томск, изд. ТГУ, 1958.
8. А. Г. Мержанов. ФГВ, 1973, 9, 1, 4.
9. Д. Янг. Кинетика разложения твердых веществ. М., «Мир», 1969.
10. Б. В. Ерофеев. Докл. АН СССР, 1946, 52, 511.