

в результате горения относительно узкого спектра частиц окиси алюминия, средний размер которых меньше среднего размера исходных частиц алюминия. Это представляет определенный интерес с точки зрения уменьшения величины двухфазных потерь в ракетных двигателях, поскольку на режимы коагуляции и дробления частиц в двухфазном потоке должны оказывать влияние размеры частиц  $Al_2O_3$ , образующихся в зоне горения алюминия.

Низкий температурный предел воспламенения в первую очередь связан с активностью получаемого аэрозоля алюминия: с минимальной толщиной окисного слоя на частицах, не препятствующего развитию гетерогенной реакции и саморазогреву частиц при вдуве кислорода в поток.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что горение частиц субдисперсного алюминия в кислородсодержащем (15—40%  $O_2$ ) потоке ( $p=1$  атм) аналогично горению крупнодисперсного (50—100 мкм) алюминия [2] и сопровождается образованием мелкодисперсных конденсированных продуктов горения.

*Поступила в редакцию 13/VI 1977,  
после доработки — 27/X 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Я. Ген, М. С. Зискин, Ю. И. Петров. Докл. АН СССР, 1959, 127, 366.
2. П. Ф. Похил, А. Ф. Беляев и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах. М., «Наука», 1972.
3. В. М. Гремячкин, А. Г. Истратов, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1975, 113, 366.
4. П. Ф. Похил, В. М. Мальцев, В. М. Зайцев. Методы исследования процессов горения и детонации. М., «Наука», 1969.

### МЕДЛЕННОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ВВ И УСЛОВИЯ ПЕРЕХОДА ЕГО ВО ВЗРЫВ ПРИ ВИБРАЦИИ

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

*(Куйбышев)*

Исследование химического разложения твердых ВВ при вибрационных воздействиях представляет несомненный интерес. Установление закономерностей превращения и определение кинетических констант, соответствующих процессам распада твердых ВВ при вибрации, особенно необходимо при изучении механизма возбуждения взрыва под действием периодических нагрузок. В настоящее время такие исследования крайне малочисленны, что объясняется большими методическими трудностями при проведении экспериментов.

Медленное разложение ВВ наиболее изучено при тепловых воздействиях в области температур от 100 до 250°С. Его особенности состоят в относительно небольшой скорости реакции, высоких значениях энергии активации порядка 50 ккал/моль, в различии скоростей реакции на разных стадиях разложения в зависимости от глубины превращения ВВ [1—4].

Опыты по химическому распаду ВВ при вибрации с регистрацией количества газов манометрическим способом проведены на вибрационной установке по схеме, представленной на рис. 1. Вибратор направленного действия 2 установлен на площадке 3, совершающей вместе с ним колебания между амортизаторами 1. Нагрузка, создаваемая вибратором, передается на роликовый прибор 6. Статическая нагрузка на образец 7 весом 0,1 г, помещенный в роликовый прибор, задается с помощью гидравлического пресса перед включением вибратора. С целью регистрации кинетики разложения ВВ роликовый прибор помещается в герметичную бомбу 5, содержащую подвижной ударник и связанную трубопроводом с жидкостным манометром 4.

Опыты проведены с гексогеном, коллоксилином и перхлоратом аммония. Результаты экспериментов в виде зависимостей глубины разложения  $\alpha$  от времени вибрации  $t$  приведены на рис. 2. Анализ осциллограмм, зарегистрировавших изменение температуры ВВ во времени при вибрации, показал, что средняя температура образца стабилизируется уже через 5÷10 с вибронегрузки и при некоторых режимах воздействия в дальнейшем не меняется. Следовательно, в этих условиях эксперимента можно считать, что разложение ВВ идет в изотермических условиях при известных параметрах вибрации и определенной температуре, и применить формально-кинетический подход к анализу полученных результатов. Из работ [3, 4] известно несколько уравнений, описывающих разложение твердых ВВ на разных стадиях протекания реакций. Наиболее общее из них [4]:

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

где  $\alpha$  — доля прореагировавшего вещества;  $t$  — время;  $K$  — постоянная, входящая в константу скорости химической реакции, определяется по уравнению

$$K = nk^{1/n}. \quad (2)$$

Здесь  $n$  — число последовательных стадий при образовании устойчивого начального центра новой фазы;  $k$  — константа скорости химической реакции.

Анализ результатов экспериментов производится с применением графического метода исследований, согласно работе [2]. Из рис. 3 видно, что экспериментальные данные находятся на прямой линии, за исключением начальной точки. Это отклонение объясняется тем, что в первые 3÷5 с после начала вибрации наблюдаются неустановившиеся тепловые процессы в образце ВВ, в частности, вызванные протеканием неупругой деформации образца и неравномерным рассеянием энергии колебаний. На основании кинетического анализа экспериментальных данных на участке стационарной температуры получены значения константы скорости реакции  $K$ , энергии активации  $E$  и предэкспоненциального множителя  $B$  в диапазоне частот колебаний 37÷140 Гц, которые сведены в таблицу.

Из приведенных результатов в сравнении с работой [1] видно, что энергия активации распада гексогена и константы скорости реакции при вибрации близки к энергии активации и константам скорости при нагревании, а значения  $\lg B$  значительно выше при вибрации, чем при нагревании, и равны соответственно 25,8 и 15,3. У ПХА  $K$ ,  $E$  и  $\lg B$  находятся в тех же пределах, что и при нагревании. Константа скорости реакции коллоксилина при вибрации несколько больше, чем при нагревании, значения  $\lg B$  отличаются незначительно. Энергия активации при виброраспаде коллоксилина заметно ниже, чем при термораспаде (соответственно 21,4 и 39,2 ккал/моль).

Одна из основных особенностей разложения ВВ при вибрации состоит в том, что реакции разложения с такой же или более высокой скоростью протекают при значительно меньших температурах, чем при

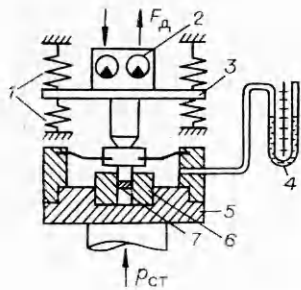


Рис. 1. Схема прибора.

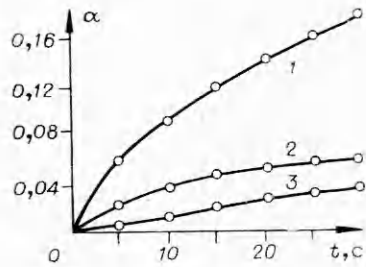


Рис. 2. Зависимость глубины разложения от времени вибрации.  
1 — гексоген,  $\omega=110$  Гц,  $A=1,3$  мм; 2 — ПХА,  $\omega=110$  Гц,  $A=1,3$  мм; 3 — коллоксилин,  $\omega=75$  Гц,  $A=1,3$  мм.

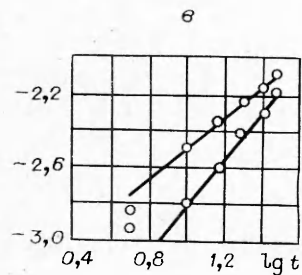
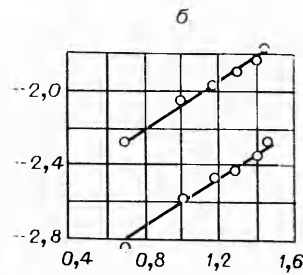
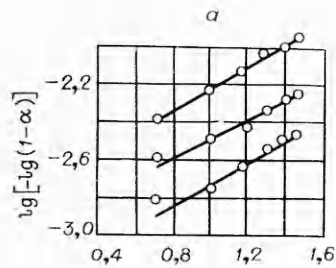


Рис. 3. Анализ кинетики разложения для различных параметров вибрации и условий теплоотвода.  
а) гексоген, б) ПХА, в) коллоксилин.

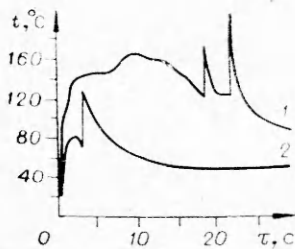


Рис. 4. Зависимость температуры образца ( $\omega=110$  Гц,  $A=1,3$  мм) от времени вибрации.

ВВ	Частота колебаний, Гц	Амплитуда колебаний, мм	Температура, °С	Константа скорости реакции, 1/с	Энергия активации, ккал/моль	lg V	Примечание
Гексоген	37	1,5	22	$8,69 \cdot 10^{-8}$	43,3	25,8	
	70	1,5	40	$6,94 \cdot 10^{-6}$			
	70	2,2	52	$1,1 \cdot 10^{-6}$	46,5	27,2	
	140	2,2	85	$7,94 \cdot 10^{-3}$			
ПХА	55	1,5	31	$3,28 \cdot 10^{-6}$	24,7	10,8	
	70	1,5	40	$5,2 \cdot 10^{-6}$			
Коллоксилин	75	1,3	90	$3,48 \cdot 10^{-4}$	21,4	15,2	Прибор со стальной муфтой
	75	1,3	120	$3,58 \cdot 10^{-5}$			Прибор с текстолитовой муфтой

термораспаде. Это означает, что вибрационная нагрузка кроме теплового воздействия оказывает и самостоятельное инициирующее влияние на реакцию разложения.

Для достижения таких же глубин разложения ВВ, как и при термораспаде, при вибронегружении требуется во много раз меньшие времена, что говорит о значительном ускорении химического разложения ВВ. Такое ускорение разложения у кристаллических ВВ (гексогена и перхлората аммония) можно объяснить сильным влиянием вибрации на дислокационный механизм образования реакционных центров. В работах по термораспаду кристаллических ВВ показано, что топочимические реакции заметно ускоряются при увеличении числа дефектов кристаллической решетки и при создании условий для их перемещения [5—7]. Доказательства сильного влияния вибрации на процесс образования дислокаций и их развитие содержатся в работах [8, 9]. Очевидно, их можно распространить и на процессы, происходящие в кристаллах ВВ при вибрации.

Снижение энергии активации у коллоксилина, по-видимому, объясняется влиянием механодеструкции макромолекул нитроцеллюлозы при вибрации на ход реакции разложения. Известно, что механохимические процессы в полимерах резко ускоряются при вибрации [10]. Переход медленного разложения во взрыв ВВ при вибронегружении наблюдается в случае превышения теплоприхода над теплоотводом. Такое нарушение теплового равновесия может быть вызвано увеличением интенсивности вибрационного воздействия, дополнительным поступлением тепла при неупругой деформации образца ВВ и увеличением теплоприхода в результате протекания интенсивной химической реакции разложения ВВ.

Согласно [11], из осциллограмм с записью изменения температуры ВВ во времени при вибрации (рис. 4) следует, что у гексогена и пороха Н при частоте 110 Гц медленное разложение переходит во взрыв. Причем индукционный период развития реакции до взрыва у гексогена не превышает 10÷15 с, а у пороха Н наблюдается несколько локальных всплесков в течение 60 с вибронегружения. В отдельных случаях температура пороха при вибрации с частотой 110 Гц повышается до 150°С и происходит полное разложение заряда с переходом во взрыв через 30÷40 с. Особенность перехода разложения во взрыв у ВВ при вибрации состоит в том, что взрыв возникает в отдельных локальных участках образца, а остальное ВВ сохраняет пер-

воначальное состояние. В дальнейшем реакция может возникнуть в других участках ВВ и снова затухнуть.

Очевидно, вибрационная нагрузка оказывает двойное влияние на разложение твердых ВВ и переход их во взрыв. С одной стороны, вибрация интенсифицирует процесс возникновения потенциальных центров химической реакции путем активизации дислокаций и подведением дополнительной тепловой энергии к ВВ. С другой стороны, периодическая нагрузка и разгрузка образца приводят к периодическому затуханию очагов возбуждения химической реакции из-за частичного понижения температуры в результате удаления нагретых газообразных продуктов из реакционной зоны. Эти конкурирующие процессы и будут определять условия перехода медленного разложения ВВ во взрыв при вибрационных воздействиях.

*Поступила в редакцию  
20/IX 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М., «Наука», 1966.
2. В. В. Болдырев. Методы изучения кинетики термического разложения твердых веществ. Томск, изд-е ТГУ, 1958.
3. А. Г. Мержанов. ФГВ, 1973, 9, 1, 4.
4. Д. Янг. Кинетика разложения твердых веществ. М., «Мир», 1969.
5. А. В. Раевский, Г. Б. Манелис.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
6. М. С. Беляева, А. И. Китайгородский, Г. К. Клименко.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
7. А. В. Раевский, Г. Б. Манелис.— В сб.: Проблемы кинетики элементарных химических реакций. М., «Наука», 1973.
8. И. А. Одинг. Теория дислокаций в металлах и ее применение. М., Изд-во АН СССР, 1959.
9. В. С. Иванова.— В сб.: Прочность металлов при циклических нагрузках. М., «Наука», 1967.
10. Н. К. Барамбойм. Механохимия полимеров. М., Ростехиздат, 1961.
11. Н. П. Логинов, С. М. Муратов, Н. К. Назаров. ФГВ, 1976, 12, 3, 410.

#### ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ОДНОМЕРНОЕ СЖАТИЕ РЕШЕТКИ

*М. А. Могилевский, И. О. Мынкин*

*(Новосибирск)*

В работе [1] в машинном эксперименте исследовано поведение плоской кристаллической решетки при сильном одномерном сжатии с использованием потенциала взаимодействия атомов Борна — Майера для меди. Получено, что при достаточно сильных сжатиях (больше 13,6%, что соответствует сжатию при ударном нагружении 300 кбар [2]) происходит перестройка решетки с образованием новых плоскостей. Проанализированы особенности перестройки, возможность реализации такого механизма в эксперименте.

В настоящей статье описываются результаты машинного счета, проведенного по аналогичной программе для плоской решетки (10×30 атомов) с введенной до начала сжатия парой Френкеля — междуузельным атомом и вакансией. Введение сразу двух дефектов сделано