

Рис. 2.

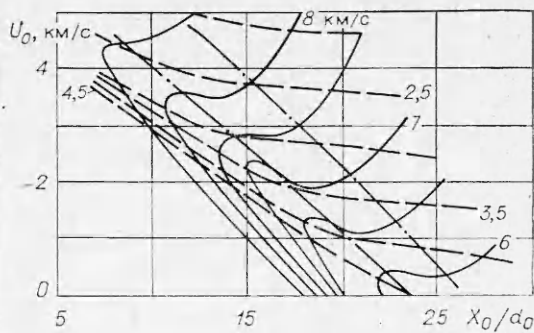


Рис. 3.

оптимальных в этом смысле параметров  $X_0$ ,  $U_0$  лежит между двумя штрихпунктирными линиями.

На основании приведенных результатов можно сделать вывод о возможности эффективного численного моделирования процессов ускорения твердых частиц газовыми струями.

Поступила в редакцию 3/VI 1983,  
после доработки — 4/I 1984

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Титов, Ю. И. Фадеев, Н. С. Титова. Докл. АН СССР, 1968, 180, 5, 1051.
2. А. С. Загумениов, Н. С. Титова и др. ПМТФ, 1969, 2, 79.
3. В. М. Титов, Г. А. Швецов. ФГВ, 1970, 6, 3, 401.
4. Г. В. Прякин, В. М. Титов, Г. А. Швецов. ПМТФ, 1971, 3, 137.
5. В. В. Сильвестров, В. П. Урушкин.— В кн.: Динамика сплошной среды. Вып. VII, Новосибирск, 1971.
6. В. П. Урушкин, Н. Н. Горшков, В. М. Титов. ФГВ, 1977, 13, 3, 439.
7. М. А. Лаврентьев, В. М. Титов и др.— В кн.: Фундаментальные исследования. Физико-математические и технические науки. Новосибирск: Наука, 1977.
8. В. Ф. Лобанов, Ю. И. Фадеев. ФГВ, 1974, 10, 1, 119.
9. И. А. Стадниченко, В. М. Титов и др. ФГВ, 1982, 18, 3, 84.
10. В. Б. Минцев, В. Е. Фортов. ТВТ, 1982, 20, 4, 745.
11. В. Ф. Куропатенко. ЧММСС, 1977, 8, 6, 68.
12. Л. В. Шуршалов. ЖФММФ, 20, 3, 793.
13. С. Л. Дмитриева, Ю. П. Хоменко.— В кн.: Газовая динамика. Томск: Изд-во ТГУ, 1977.
14. В. И. Мали, А. К. Ребров и др. ФГВ, 1981, 17, 3, 122.
15. С. К. Годунов, А. В. Забродин и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.

### ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ 2,4,6-ТРИНИТРОТОЛУОЛА ПРИ ВИБРАЦИИ

Н. П. Логинов, В. Б. Епифанов, С. М. Муратов

(Куйбышев)

Влияние вибрации на разложение твердых веществ изучено недостаточно подробно. В [1, 2] указано, что реакция разложения тринитротолуола (ТНТ) при вибрации протекает с более высокой скоростью при меньших температурах, чем при термораспаде. Однако в указанных работах не приведены результаты химического и структурного анализа ТНТ до и после вибрационного воздействия.

Цель данной работы — изучение параметров вибрации на степень разложения, структуру кристаллов и стойкость ТНТ, а также выявление возможности существования в обработанных вибрацией образцах конденсированных продуктов распада.

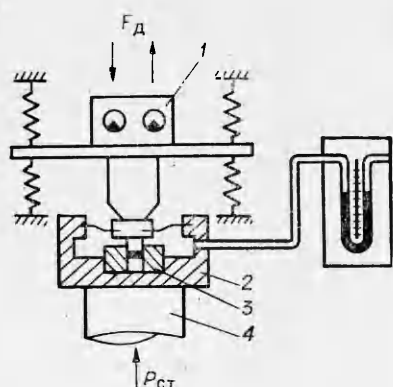


Рис. 1. Схема испытаний.

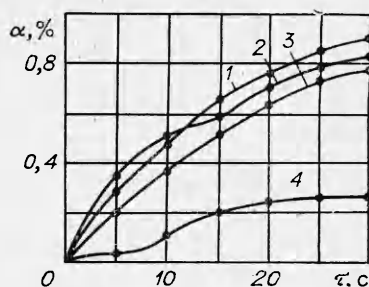


Рис. 2. Зависимость глубины разложения от времени вибрации для 2,4,6-тринитротолуола.

$f$ , Гц: 1 — 44, 2 — 75, 3 — 135, 4 — 177.

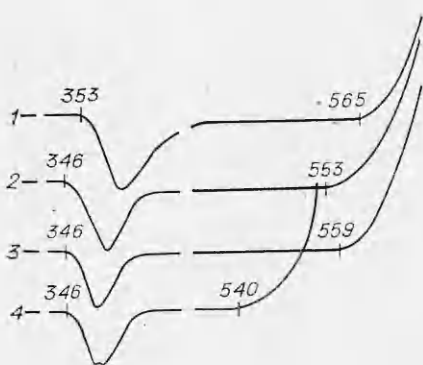


Рис. 3. Термограммы тринитротолуола.

1 — исходный продукт;  $f$ , Гц: 2 — 44, 3 — 135, 4 — 177.

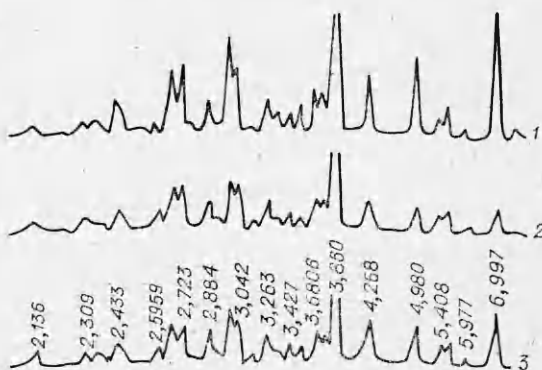


Рис. 4. Рентгенограммы образцов ТНТ.

1 — исходный продукт; 2 —  $f=135$  Гц; 3 —  $f=177$  Гц.

Методика проведения экспериментов по вибронагружению образцов ТНТ состоит в следующем. Навеску 0,1 г ТНТ помещали между роликами в приборе 3 (рис. 1), устанавливали его в герметичную бомбу 2, размещенную на плунжере гидравлического пресса 4 (один из элементов виброустановки), задавали определенную статическую нагрузку и включали вибратор 1 на определенный промежуток времени. Температуру образца регулировали нагревательным элементом. В ходе испытаний жидкостным манометром измеряли перепад давления газов в герметичной бомбе и температуру конденсированного вещества и газа. По окончании вибронагружения из роликовых приборов вынимали остатки образцов и отбирали пробы на дифференциально-термический анализ (ДТА), на ультрафиолетовую (УФ) и инфракрасную (ИК) спектроскопию, а также на рентгенофазовый анализ.

Эксперименты проведены при вибронагружении в диапазоне частот колебаний  $45 \div 180$  Гц, амплитуд колебаний  $0,05 \div 2,5$  мм, статических давлений  $6 \div 30$  МН/м<sup>2</sup> и динамических нагрузок  $5 \div 30$  МН/м<sup>2</sup>. Изучено влияние начальной температуры на распад ТНТ при вибрации в диапазоне температур  $293 \div 347$  К, при которых ТНТ находится в кристаллическом состоянии.

Эксперименты показали, что во всех случаях начальный период вибрационного воздействия (5—10 с) характеризуется более быстрым нарастанием давления газов. В дальнейшем давление повышается более равномерно, что связано с выходом химической реакции разложения ТНТ при вибрации на стационарный режим. Еще одним доказательством протекания химического распада ТНТ при вибрации является нарастание температуры твердого ТНТ. Оно происходит в результате

поступления тепла от химической реакции распада ТНТ и за счет превращения работы механических колебаний в тепло. Соотношение теплоприходов от химического и механического источников тепла зависит от параметров вибрации, начальной температуры и скорости реакции распада ТНТ.

Результаты опытов, приведенные на рис. 2, показывают, что максимальная степень разложения после 30 с вибрации равна 0,83% при частоте  $f = 45$  Гц, амплитуде 2,2 мм, а минимальная (0,28%) соответствует  $f = 180$  Гц, амплитуде 0,05 мм. Разогрев твердого ВВ составил 19—33 К. Величина разогрева возрастает с увеличением частоты, амплитуды колебаний и динамической нагрузки. Чем выше частота и меньше амплитуда колебаний, тем равномернее распределение температуры в твердом образце ТНТ. Это подтверждается результатами измерения температуры в пяти разных участках образца ТНТ.

Повышение начальной температуры ТНТ приводит к увеличению пластичности кристаллов, что способствует протеканию неупругой деформации твердого образца при меньших динамических нагрузках. Следствие этого — снижение величин разогревов от вибрации у предварительно нагретых образцов ТНТ. Например, разогрев уменьшился с 35 К при  $T_0 = 303$  К до 4 К при  $T_0 = 351$  К. Степень разложения ТНТ при повышении начальной температуры с 293 до 360 К составляет через 30 с 0,16—0,44%, причем имеется максимум при  $T_0 = 327$  К, а при  $T_0 = 347$  К степень разложения уменьшается до 0,16%. Рост частоты колебаний до 100 Гц при динамической нагрузке 20 МН/м<sup>2</sup> приводит к выравниванию разогрева при изменении  $T_0$  в указанных пределах, который составляет 9—15 К.

Из работ [3, 4] известно, что такие небольшие разогревы, достигаемые при виброобработке ТНТ, не должны приводить к заметному его разложению. Очевидно, что наблюдаемое разложение при невысоких начальных температурах следует связывать со специфическим действием вибрации, состоящим в интенсивном измельчении твердых частиц, образовании «свежих» поверхностей разрыва, активизации дислокаций, в создании условий для их перемещения и для образования многих потенциальных активных центров, в которых может возникнуть химическая реакция распада ТНТ. Подобная гипотеза выдвинута в работе [5]. Большую роль в активации химических процессов в неорганических окислителях и в полимерах играют явления механохимической природы при измельчении, дроблении и виброобработке [6].

Исследования ТНТ, проведенные до и после виброобработки термодифференциальным методом на приборе дифференциально-термического анализа продуктов типа ДТАП-5, показали, что происходит заметное изменение характерной температуры переходов. До вибронегрузки она составляла 353 К, а после вибрации снизилась до 346 К. Температура интенсивного термического разложения ТНТ до и после обработки составила 565 и 550—545 К соответственно. Особенно резкое падение температуры интенсивного разложения наблюдалось при частоте 177 Гц (рис. 3). Такое заметное изменение температур переходов можно связать с образованием продуктов распада при вибровоздействии, катализирующих разложение ТНТ, и с переходом атомов и молекул ТНТ в возбужденное состояние. Согласно [4, 7], ускорение термического разложения ТНТ может быть вызвано 4,6-динитроантрацином и 2,4,6-тринитробензальдегидом, которые являются его конденсированными продуктами термического распада.

Поиск указанных конденсированных продуктов в пробах перекристаллизованного ТНТ после вибронегрузки методами инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии с разрешающей способностью соответственно 0,01 и 0,0001% подтвердил наличие 2,4,6-тринитробензальдегида. При этом установлено заметное отличие спектров поглощения у образцов после вибрации, заключающееся в уменьшении ширины и интенсивности полос поглощения, что можно объяснить уменьшением кон-

центрации ТНТ и некоторым ослаблением химических связей при наличии в молекуле возбужденных атомов.

Понижение температуры плавления ТНТ после вибрации до 346 К, по-видимому, объясняется как присутствием конденсированных продуктов распада, так и ослаблением связей в кристаллической решетке и появлением в кристаллах ТНТ большего числа микродефектов. Рентгенофазовый анализ образцов до и после виброагружения на установке ДРОН-2 показал, что в образцах после вибрации произошло уменьшение интенсивности дифракционных максимумов (рис. 4), связанное с возникновением нарушений кристаллической решетки, т. е. с возрастанием числа дефектов. Увеличение продолжительности виброобработки с 30 до 600 с при частоте 44 Гц и амплитуде 2,2 мм не изменяет вида рентгенограмм.

Уменьшение температуры плавления ТНТ может быть связано также с возрастанием концентрации в нем несимметричных тринитротолуолов и динитропроизводных толуола. Присутствие 2—5%-ного тротилового масла в техническом 2, 4, 6-тринитротолуоле снижает температуру его плавления до 350—348 К [4].

Таким образом, экспериментально установлены активация химической реакции распада ТНТ при вибрации, понижение температур плавления и интенсивного химического разложения, изменение структуры кристаллов и возрастание скорости разложения при невысоких температурах разогрева ТНТ, находящегося в твердом агрегатном состоянии. С появлением жидкой фазы в образце снижается скорость реакции разложения и уменьшается температура разогрева, вызываемого вибрацией. Обнаружено присутствие в обработанных вибрацией образцах ТНТ тринитробензальдегида, катализирующего его химический распад.

*Поступила в редакцию 12/VII 1983*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Логинов, С. М. Муратов, Н. К. Назаров. ФГВ, 1976, 12, 3, 511.
2. Н. П. Логинов, С. М. Муратов, Н. К. Назаров. ФГВ, 1978, 14, 5, 155.
3. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М.: Наука, 1966.
4. Е. Ю. Орлова. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. Л.: Химия, 1973.
5. Л. В. Дубнов, В. А. Сухих, И. И. Томашевич. ФГВ, 1971, 7, 1, 147.
6. Е. Г. Аввакумов. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1979.
7. Ю. Я. Максимов, В. Ф. Сапранович, Н. В. Полякова.— В кн.: Вопросы теории взрывчатых веществ. Вып. 83. М., 1974.

#### АЭРОДИНАМИКА ГАЗОВОГО ФАКЕЛА, СЛУЖАЩЕГО ИСТОЧНИКОМ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

*А. Л. Ярин*  
(Москва)

В работе численно исследована аэродинамика и процессы тепло- и массопереноса в ламинарном факеле, служащем источником частиц кремнезема при производстве сверхчистых заготовок для оптических волноводов [1] (обзор различных методов создания таких заготовок, а также проблемы волоконной оптики в целом также рассматриваются в [1]). Определено воздействие спутного потока воздуха на поток твердых частиц, создаваемый факелом. Подобные задачи возникают также в связи с производством сажи [2].

В рассматриваемом случае в бунзеновскую горелку поступает гомогенная смесь газов  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{SiCl}_4$ , которая сгорает в факеле. Химиче-