слойной камер, которые получены при применении точных формул для напряжений в однослойном (16) и двухслойном цилиндрах, и при применении приближенной формулы (17). Были использованы установившиеся температурные периодические поля, полученные выше. Рассмотренный промежуток времени составил T. Видно, что с помощью (17) можно оценить максимальные окружные напряжения на внутренней поверхности однослойной и двухслойной камер. Погрешность, получающаяся при сопоставлении с точными решениями, может быть отнесена в запас прочности.

Так как напряженно-деформированное состояние камеры складывается из суммы динамических и температурных напряжений, стенки камеры должны обладать хорошей несущей способностью (например, сталь), выдерживающей большие динамические нагрузки. Тепловая защита, состоящая из тонкого внутреннего слоя из материала с высокой теплопроводностью (медь), по-видимому, должна служить для снижения температурных напряжений в стальном слое.

В численном расчете приняты следующие значения постоянных: $\lambda_1 = 401$ Вт/(м · град), $\lambda_2 = 75$ Вт/(м · град), $a_1 = 1{,}16 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $a_2 = 0{,}16 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\alpha_1 = 1{,}66 \cdot 10^{-5}$ град$^{-1}$, $\alpha_2 = 1{,}13 \cdot 10^{-5}$ град$^{-1}$, $E_1 = 13{,}4 \cdot 10^4$ МПа, $E_2 = 21 \cdot 10^4$ МПа, $\nu_1 = 0{,}368$, $\nu_2 = 0{,}27$, $Q_1 = 3{,}65 \times 10^7$ Вт/м², $Q_2 = 3{,}66 \cdot 10^7$ Вт/м², $\gamma = 3{,}36$ с$^{-1/2}$, $\beta = 41{,}4$ с$^{-1}$, $h_1 = 0{,}004$ м, $h_2 = 0{,}036$ м. Здесь E_i $(i = 1, 2)$ — модули упругости первого и второго слоев камеры; ν_i, α_i $(i = 1, 2)$ — соответственно коэффициенты Пуассона и линейного расширения первого и второго слоев.

Итак, получены асимптотические выражения для поля температур в одно- и двухслойной камерах для термоэнергетической обработки материалов при периодическом тепловом потоке, действующем на внутреннюю поверхность. Для оценок максимальных температурных напряжений, обусловленных периодическим температурным полем, приведены простые приближенные формулы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Колоколов Б. А., Саранча В. Н., Лосев А. В.** // Высокоскоростная обработка материалов давлением в машиностроении.— Харьк. авиац. ин-т, 1977.— Вып. 6.
2. **Манжалей В. И.** // Динамика сплошной среды.— Новосибирск, 1986.— Вып. 78.
3. **Адодин С. М., Манжалей В. И.** // Там же.— Вып. 74.
4. **Тихонов А. Н., Самарский А. А.** Уравнения математической физики.— М.: Наука, 1977.
5. **Вишик М. И., Люстерник Л. Н.** УМН, 1960, **15**, 4.
6. **Подстригач Я. С., Ломакин В. А., Коляно Ю. М.** Термоупругость тел неоднородной структуры.— М.: Наука, 1984.
7. **Тимошенко С. П., Гудьер Дж.** Теория упругости.— М.: Наука, 1979.
8. **Бичуя А. Л., Лозбень В. Л., Стасюк С. Т.** Проблемы прочности, 1977, 7.

Поступила в редакцию 30/XI 1988

УДК 662.215.4

О СПОНТАННОМ ВЗРЫВЕ ГЕКСАМЕТИЛЕНТРИПЕРОКСИДДИАМИНА

А. Е. Фогельзанг, В. В. Серушкин, В. П. Синдицкий

(Москва)

Существуют весьма противоречивые мнения о повышенной относительной опасности больших кристаллов инициирующих взрывчатых веществ. В [1, 2] указывается, что крупные кристаллы β-азида свинца обладают особо высокой чувствительностью к механическим воздействиям. В ра-

боте [3] отмечается, что крупные кристаллы цианурТриазида, полученные при кристаллизации из спирта, взрываются при прикосновении. Большую опасность крупных кристаллов объясняют наличием в них внутренних напряжений, которые могут привести к спонтанным взрывам. В [4, 5] авторы приходят к выводу, что утверждения о повышенной чувствительности к механическим воздействиям крупных кристаллов ВВ вряд ли справедливы. Так, кристаллы азида свинца размером ~4 мм не взрывались при разламывании и раздавливании [4]. В [5] описаны опыты Тейлора и Томаса, которые показали, что возникновение спонтанных взрывов в процессе кристаллизации азида свинца определяется не образованием крупных кристаллов, а условиями кристаллизации. Следует отметить, что самопроизвольные взрывы происходили, как правило, с веществами, молекулы которых обладают большой внутренней энергией, такими как азиды, диазосоединения, галогениды азота [6].

В литературе не описаны спонтанные взрывы кристаллов веществ, у которых энергия при взрывчатом превращении выделяется за счет реакции окисления — восстановления. Поэтому можно было предположить, что выращивание крупных кристаллов гексаметилентрипероксиддиамина (ГМТД) не представляет опасности в отношении самопроизвольного взрыва. Однако, оказалось, что это не так.

Эксперименты проводили по методике, предложенной Тейлором и Ринкенбахом и описанной в [6]. Для получения крупных кристаллов 12 г высушенного вещества растворяли в 1 л кипящего хлороформа. Горячий раствор фильтровали через складчатый фильтр и заливали в предварительно прогретый до 65 °С сосуд Дьюара. Сосуд закрывали корковой пробкой с подвешенными на ней хлопчатобумажными нитями, которые служили центрами кристаллизации, и помещали в прогретый до 60 °С термостат. Процесс охлаждения до комнатной температуры длился приблизительно двое суток. По истечении этого времени пробку с подвешенными нитями вынимали. Все нити были покрыты крупными совершенно прозрачными кристаллами массой до 3,5 мг (~1,3 мм). Этот процесс повторяли неоднократно. Получаемые кристаллы были стабильны при хранении и не взрывались даже при разламывании и раздавливании.

Для выращивания более крупных кристаллов сосуд Дьюара с раствором ГМТД в хлороформе той же концентрации и приготовленным так же, как указано выше, поместили не в термостат, а в другой сосуд Дьюара, в который залили 10 л воды, нагретой до 60 °С. Больший сосуд закрыли крышкой из пенопласта и поместили в нагретый до 60 °С термостат. В этом случае пробку с подвешенными на ней нитями извлекли из сосуда Дьюара через 6 суток. Как и в предыдущих случаях, все нити были покрыты крупными прозрачными кристаллами, масса отдельных из них достигала 5 мг (~1,45 мм). Нити, с выросшими на них кристаллами, разложили на фильтровальной бумаге для просушки. При внимательном рассмотрении извлеченных из сосуда Дьюара нитей оказалось, что во многих случаях кристаллы выросли на самой нити, а не на отдельных ее ворсинках, как это было ранее, поэтому нить проходила внутри кристаллов. Кроме того, сама нить легко разрывалась от слабого воздействия.

Приблизительно через 5 мин после извлечения нитей из маточника при попытке снять кристаллы произошел взрыв нескольких кристаллов, причем взорвалась не вся нить и не те кристаллы, которые снимали, а те, которые свободно лежали на фильтровальной бумаге и не подвергались никакому воздействию.

Примерно через 10 мин после первого взрыва произошел спонтанный взрыв еще нескольких кристаллов на нити, спокойно лежащей на фильтровальной бумаге, причем, судя по следам, оставшимся на бумаге, опять же взорвалась не вся нить, а лишь отдельные кристаллы. Этим взрывом рядом лежащие нити были разбросаны в стороны. Кристаллы, находящиеся на них, не взорвались и не загорелись.

Чтобы как-то предотвратить дальнейшие самопроизвольные взрывы, все разбросанные кристаллы (~3 г) собрали и высыпали в литровый стакан с холодной водой. При сборе разбросанных по лаборатории кристаллов происходили отдельные взрывы, когда на кристаллы, попавшие на покрытый линолеумом пол, случайно наступали.

Через 1—2 мин после помещения кристаллов в воду послышались отдельные слабые щелчки, а затем произошел сильный взрыв. Осколками стекла была пробита рядом стоявшая стеклянная посуда. Кафельная плитка, на которой стоял стакан, растрескалась. Отметим, что кристаллы ГМТД, остававшиеся в маточнике в течение двух часов после извлечения нитей, не взорвались. Затем сосуд Дьюара с маточником и кристаллами был уничтожен.

В настоящее время трудно объяснить причину спонтанного взрыва кристаллов ГМТД не только в воде, но и на воздухе. Однако можно предположить, что взрывы происходили из-за растрескивания длительное время находившихся в маточнике кристаллов под воздействием внутренних напряжений, возникших в них при удалении остатков легколетучего растворителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Miles F. D.** J. Chem. Soc., 1931, 2532.
2. **Garner W. E., Gomm A. S.** J. Chem. Soc., 1931, 2133.
3. **Kast H., Haid A.** Z. angew. Chem., 1924, 38, 43.
4. **Hawkes A. S., Winkler C. A.** Canad. J. Res., 1947, 25, 548.
5. **Боуден Ф., Иоффе А.** Быстрые реакции в твердых веществах.— М.: ИЛ, 1962.
6. **Багал Л. И.** Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ.— М.: Машиностроение, 1975.

Поступила в редакцию 10/III 1988

УДК 622.235.5

О ХАРАКТЕРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЗАРЯДОВ ВЫБРОСА ПРИ ИХ НЕОДНОВРЕМЕННОМ ВЗРЫВАНИИ[1]

В. В. Адушкин, Р. З. Камалян, К. Д. Королев

(Краснодар)

При необходимости получения протяженных и глубоких выемок часто используется цепочка расположенных в ряд сосредоточенных зарядов выброса, инициирование которых для участков длиною порядка 500—600 м осуществляется с одного конца. Несмотря на то что в данной схеме инициирования каждый последующий заряд подрывается с некоторым замедлением по отношению к предыдущему, выемка оказывается достаточно симметричной. В случае применения двух и более рядов цепочек сосредоточенных зарядов очень часто отмечается отклонение, иногда существенное, от симметрии по отношению к оси выемки. Исследование крупномасштабных взрывов позволило установить, что несимметричность выемки связана при прочих относительно равных условиях с неодновременностью взрывания взаимодействующих зарядов выброса.

Крупномасштабные взрывы были приурочены к строительству канала АБМК-3 в Средней Азии. Для обеспечения проектной ширины по дну, равной 14 м, использовалась двухрядная схема расположения сосредоточенных зарядов выброса. Расстояние между зарядами определя-

---

[1] Работа доложена на конференции по проблемам применения энергии взрыва в народном хозяйстве (Киев, 1987).