

11. И. М. Воскобойников, В. М. Богомолов и др. Докл. АН СССР, 1968, **182**, 4, 807.
12. S. E. Vabb, J. R. Rev. Modern Phys., 1963, **35**, 2, 400.
13. Цянь Сюэ-Сень. Физическая механика. М., «Мир», 1965.
14. Н. М. Эмануэль, Д. Г. Кнорре. Курс химической кинетики. М., «Высшая школа», 1969.
15. F. Dacheille, R. Roy. Conf. Proc. Physics and Chemistry of High Pressures, London, 1962.
16. E. G. Butcher, M. Alsop a. o. Nature 1963, **199**, 4895 756.
17. А. Н. Дремин, И. А. Карлухин. ПМТФ, 1960, 3, 184.
18. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. ПМТФ, 1969, 4, 137.
19. B. I. Alder, R. H. Christian. Phys. Rev. Lett, 1961, 7, 367.
20. P. W. Bridgman. Proc. Am. Acad. Art. Sci., 1945, **76**, 1, 1.
21. U. I. Berg. Arkiv för Fusik, 1964, **25**, 2.
22. И. К. Шоховский, В. С. Богданов, Е. М. Иванова. Тр. метрологических институтов СССР. Вып. 104(164), 1969, стр. 110.
23. Л. С. Кобринна, А. П. Крысин и др. Тез. докл. на Первом всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву. М., «Наука», 1968.
24. Л. В. Барабэ, А. Н. Дремин и др. ФГВ. 1969, 5, 4, 528.
25. К. Р. Кинни. Химия углеводородов нефти. Т. 2, 1958, стр. 93.
26. R. H. Warnes. J. Chem. Phys., 1970, **53**, 3, 1088.
27. В. А. Веретенников, А. Н. Дремин, А. Н. Михайлов. ФГВ, 1966, 2, 3, 95.
28. А. Н. Дремин, П. Ф. Похил. Докл. АН СССР, 1959, **127**, 6, 1295.
29. O. B. Jakusheva, V. V. Jakushev, A. N. Dremin. High Temperatures — High Pressures, 1971, 3, 261.
30. А. Н. Дремин, С. В. Першин. ФГВ, 4, 1, 112.

УДК 662.215

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ХИМПИКА С ТОНКОЙ ПЛАСТИНОЙ

О. А. Кузнецов, В. С. Соловьев  
(Москва)

Согласно теории ЗНД, детонационная волна (ДВ) представляет собой комплекс ударной волны (УВ) и следующей за ней зоны химической реакции. Следствием этого является существование в ДВ зоны повышенных давлений, названной зоной химпика (ХП). Экспериментальное подтверждение теории ЗНД и определение ширины ХП —  $a$  производилось как с использованием кривых затухания [1—3], так и с помощью электромагнитного датчика [4]. Оказалось, что величина  $a$  для конденсированных ВВ изменяется в диапазоне 0,5÷2 мм. Естественно, что при решении задач метания тел возникает необходимость учета влияния химпика на процесс разгона, когда характерный размер метаемого тела (толщина  $\delta$ ) соизмерим с шириной ХП. В настоящей работе предпринята попытка экспериментального решения этого вопроса с помощью метода емкостного датчика [5].

Известно, что процесс разгона сопровождается волновым характером обмена энергией между продуктами детонации (ПД) и метаемым телом. Поэтому закон изменения скорости свободной поверхности метаемого тела (пластины) —  $w$  во времени  $t$  для достаточно больших отношений  $l/\delta$  ( $l$  — длина заряда ВВ) имеет вид, представленный на рис. 1: прирост величины  $w$  происходит скачкообразно спу-

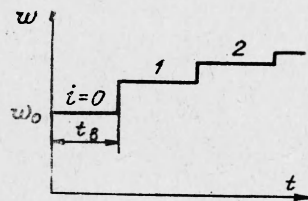


Рис. 1. Характер изменения скорости свободной поверхности пластины во времени при разгоне.

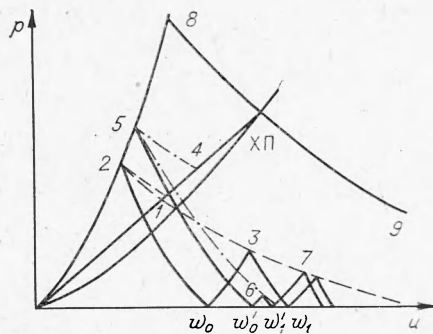


Рис. 2. Возможные варианты взаимодействия химпика с пластиной.

$i=0$ ) определяется состоянием Чепмена — Жуге (Ч.—Ж.). В координатах давление  $p$ , массовая скорость  $u$  процесс разгона, соответствующий этому случаю, представляется следующим образом (рис. 2).

Состояние пластины при отражении от нее ДВ определяется точкой пересечения изэнтропы отражения продуктов детонации (рис. 2, 1, 2) с ударной адиабатой материала пластины (см. рис. 2, 2—5). Пластина в нулевом волнообмене приобретает скорость  $\omega_0 = 2u_2$ . Состояние пластины в следующем волнообмене ( $i=1$ ) определяется пересечением изэнтропы расширения ПД (см. рис. 2, 2, 3—7) и ударной адиабаты материала пластины, проведенной из точки  $\omega_0$ . Соответственно пластина приобретает скорость  $\omega_1$  и т. д.

2. Для  $\delta \ll a$  процесс разгона пластины определяет изэнтропа разгрузки ВВ, так как в течение времени разгона ВВ не претерпевает существенных превращений. Практически этот случай возможен при  $\delta \ll 2 \cdot 10^{-2}$  мм, если  $a \approx 1$  мм.

3. Особый интерес представляет такой случай, при котором ширина зоны химпика соизмерима с толщиной пластины  $\delta \approx a$ . Скорость пластины в нулевом волнообмене определяется промежуточным состоянием между состоянием Ч.—Ж. и ХП. Соответствующая изэнтропа разгрузки расположена между изэнтропой разгрузки ПД и ВВ (рис. 2, 5, 6). Поэтому скорость в волнообмене  $i=1$  ( $\omega_1$ ) может незначительно отличаться от величины  $\omega_0$ . Кроме вышеизложенного этому способствует интенсивный спад давления в зоне химпика. Подобные рассуждения удовлетворительно объясняют экспериментальные данные.

Экспериментальное изучение процесса метания тонких пластин с торца заряда ВВ проводилось в настоящей работе с помощью метода емкостного датчика. Примененный метод позволил получить информацию не только о зависимостях  $\omega(t)$ , но и о возможных отколах в метаемых пластинах, по сопоставлению с записями  $\omega(t)$  для пластин с искусственным отколом. В описанных ниже экспериментах откол не наблюдался. В качестве нагрузки использовались заряды ВВ диаметром 50 и высотой 10 мм. Детонация инициировалась генератором пло-

стя время волнообмена  $t_b$ , величина которого может быть оценена из выражения

$$t_b = 2\delta/C, \quad (1)$$

где  $C$  — скорость звука в ударно-сжатом материале пластины.

Качественно можно представить три случая взаимодействия химпика с метаемой пластиной.

1. Если  $\delta \gg a$ , то химпик затухает на толщине пластины, и величина  $\omega_0$  (скорость свободной поверхности пластины в нулевом волнообмене —

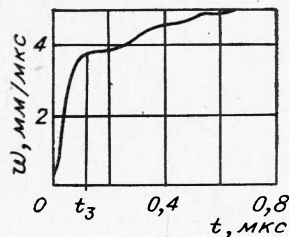
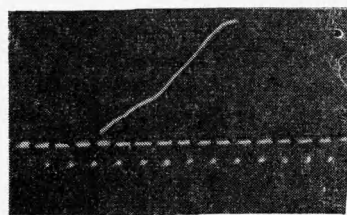


Рис. 3. Типичная осциллограмма записи скорости свободной поверхности пластины при  $\delta > \delta_{ц}$ .

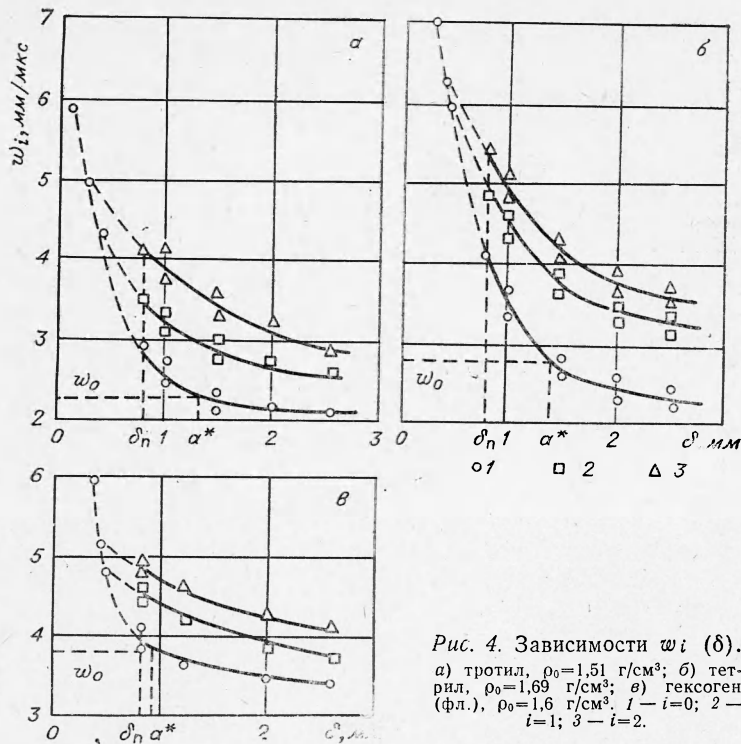


Рис. 4. Зависимости  $w_i(\delta)$ .  
 а) тротил,  $\rho_0=1,51$  г/см<sup>3</sup>; б) тетрил,  $\rho_0=1,69$  г/см<sup>3</sup>; в) гексоген (фл.),  $\rho_0=1,6$  г/см<sup>3</sup>. 1 —  $i=0$ ; 2 —  $i=1$ ; 3 —  $i=2$ .

ской волны, обеспечивающим одновременность выхода детонационной волны на свободный торец меньше 0,1 мкс. Этот метод описан в работе [6].

Типичная осциллограмма записи скорости свободной поверхности пластины  $\delta=0,8$  мм, метаемой зарядом гексогена (флегматизированного,  $\rho_0=1,6$  г/см<sup>3</sup>) представлена на рис. 3. Там же дана обработка этой осциллограммы. Отчетливо виден ступенчатый характер набора скорости пластиной. Для строго одномерного процесса величина  $w_0$  должна достигаться за время, соответствующее ширине фронта ударной волны, т. е. практически мгновенно. Однако экспериментально это зафиксировать не удастся, так как полоса пропускания измерительной аппаратуры ограничена, измерительные цепи имеют собственную индуктивность и емкость, пластина вовлекается в движение не одновременно по всей поверхности из-за кривизны фронта ударной волны. В общей сложности это создает завал переднего фронта сигнала (на рис. 3 —  $t_3$ ) и определяет временную разрешающую способность метода.

Величина  $t_3$  во всех опытах не превосходила 0,15 мкс. Исходя из нее, определяется толщина пластины —  $\delta_n$ , для которой еще можно зафиксировать прирост скорости в волнообменах. Поскольку необходимо, чтобы  $t_n > t_3$ , то, исходя из (1), для материала пластины Д16  $\delta_n = 0,7-0,8$  мм.

Результаты экспериментов позволили построить зависимости  $w_i(\delta)$  для различных типов зарядов ВВ (рис. 4). Зона влияния ХП —  $a^*$ , определяемая обычно по точке перегиба в зависимости  $w_0(\delta)$  [1, 2], оценена по величине  $w_0^*$ , для нахождения которой были поставлены специальные опыты, в которых толщина пластины обеспечивала полное затухание химика, и длина заряда не позволяла проявиться тейлоровской волне разрежения ( $\delta \approx 6$  мм,  $l \approx 40$  мм). Следует отметить, что экспериментальные значения  $w_0^*(a^*)$  с точностью до 5% совпадают с расчетными [7]. Значения  $a^*$  удовлетворительно согласуются с данными автора [2].

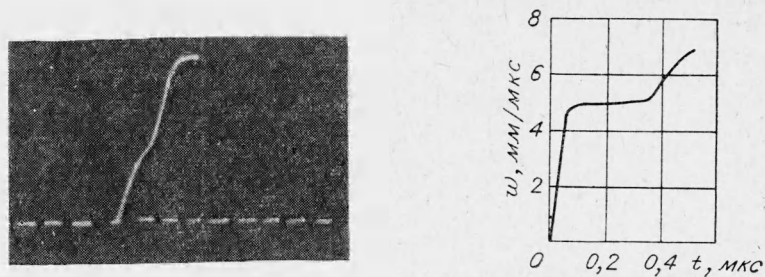


Рис. 5. Типичная осциллограмма записи скорости свободной поверхности пластины при  $\delta < \delta_p$ .

Соображения, изложенные в пункте 3 и подтвержденные экспериментальными данными, позволили проэкстраполировать зависимости  $w_i(\delta)$  в область толщин  $\delta < \delta_p$ . Типичная осциллограмма записи скорости свободной поверхности в диапазоне  $\delta < \delta_p$  показана на рис. 5. Для условий эксперимента ( $\delta = 0,5$  мм, заряд — тротил) в течение времени 0,4 мкс, за которое, как показывают оценочные расчеты по формуле (1), успевают совершиться два волнообмена, величина  $w$  практически постоянна, затем происходит дальнейшее ее увеличение до некоторого предельного значения. Этот факт дает основания считать, что в эксперименте измеряется величина  $w_0$ , которая совпадает с  $w_1$  и позволяет произвести экстраполяцию (штриховые линии на рис. 4). Поскольку  $w_0 \approx w_1$ , то на рис. 4 зависимости  $w_0(\delta)$  и  $w_1(\delta)$  сопрягаются (аналогично для случая  $w_0 = w_1 = w_2$  сопрягаются  $w_0(\delta)$  и  $w_2(\delta)$ ). Построенные зависимости могут быть использованы для получения сведений о состоянии ВВ в зоне химпика, так как используя метод [8] они позволяют построить адиабаты расширения ВВ из состояния, промежуточного между химпиком и точкой Чепмена — Жуге, представляющего особый интерес при формировании представлений о кинетике реакций взрывчатого превращения ВВ.

Поступила в редакцию  
12/XI 1973

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. E. Daff, E. Houston, J. Chem. Phys., 1955, 23.
2. А. Н. Дремин, П. Ф. Похил. ЖФХ, 1960, 36.
3. В. Н. Зубарев, П. В. Панов, Г. С. Телегин. ФГВ, 1970, 6, 1.
4. А. Н. Дремин, К. К. Шведов, М. В. Веретенников. Сб. «Взрывное дело», № 52/19. М., Госгортехиздат, 1963.
5. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1.
6. М. М. Бойко, О. А. Кузнецов, В. С. Соловьев. ФГВ, 1972, 8, 4.
7. Ф. А. Баум, Б. И. Шехтер, К. П. Станюкович. Физика взрыва. М., Физматгиз, 1959.
8. С. Г. Андреев, М. М. Бойко и др. ФГВ. 1971, 7, 3.