

Помимо детонационных характеристик, в настоящей работе была определена чувствительность азида гидразония к удару на копре Каста в стандартных условиях (вес груза 10 кг, высота падения 25 см, навеска ВВ 0,05 г). Снаряжение приборчиков производилось в сухом боксе. Частота взрывов азида гидразония составляла 68%; в параллельных опытах с тетрилом — 56%.

Поступила в редакцию
10/XI 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Яковлева, Р. Х. Курбангалина, Л. Н. Стесик. Докл. АН СССР, 1964, **156**, 1, 152.
2. Р. Х. Курбангалина, Е. А. Пацков и др. ПМТФ, 1970, 4, 160.
3. A. L. Dresser, A. W. Brown, C. W. Mason. JACSC, 1933, **55**, 5—6, 1963.
4. Ю. И. Рубцов. Сб. «Горение и взрыв». М., «Наука», 1972, стр. 771.
5. Л. Н. Стесик. ФГВ, 1971, **7**, 1, 111.
6. Л. Н. Стесик, Н. С. Шведова. ПМТФ, 1964, 4, 124.
7. H. C. Hornig, E. L. Lee a. o. The Fifth Symposium (International) on Detonation, Pasadena, California, August 18—21, 1970.
8. Donna Price T. P. Liddiard, R. D. Drost. US Government Research a. Development Reports, August, 1966, 112.
9. Р. Х. Курбангалина, Н. Н. Тимохин. ФГВ, 1970, **6**, 4.
10. A. Schmidt. Z. Phys. Chemie, 1941, **A189**, 88.
11. W. A. Strauss, I. N. Scott. Combustion and Flame, 1972, **1**, 141.
12. А. Я. Апин, А. Ф. Беляев, Г. С. Соснова. Сб. «Физика взрыва», № 2, Изд-во АН СССР, 1953.

УДК 552.1 : 531

СКОРОСТЬ ВОЛН РАЗГРУЗКИ В УДАРНО-СЖАТОМ ПОРИСТОМ NaCl

И. В. Белинский, А. Н. Струченко, Б. Д. Христофоров
(Москва)

При расчете действия взрыва в твердом теле необходимо знать как параметры динамического сжатия, так и особенности разгрузки среды за ударным фронтом. К настоящему времени проведены широкие исследования ударной сжимаемости сплошных и пористых материалов [1], однако их поведение при разгрузке изучено мало. На величину скорости волн разгрузки могут влиять пористость среды и прочностные эффекты. В связи с этим проведены измерения скорости волн разгрузки в ударно-сжатых образцах NaCl, в которых ранее исследовалось затухание плоских и сферических ударных волн [2, 3], в диапазоне давлений $30 \div 150 \cdot 10^8$ Н/м² сравнимых с прочностью. Большинство исследований в этом направлении проведено с металлами при давлениях выше $100 \cdot 10^8$ Н/м² [4—9]. В работе [10] измерены скорости волн разгрузки за ударным фронтом в глинах и глинистых сланцах при давлениях до $500 \cdot 10^8$ Н/м².

Методика измерения скоростей звука в ударно-сжатом NaCl аналогична применявшейся в [10]. Исследуемые образцы цилиндрической формы диаметром 84 и 100 мм прессовались из порошка NaCl с размером зерен около 0,3 мм до плотности 1880 ± 10 и 2120 ± 5 кг/см³, что со-

отвечает (при плотности кристалла 2160 кг/м³) начальной пористости 13 и 2% соответственно.

Экспериментальное устройство показано на рис. 1. Взрывная линза 1 и заряд ВВ 2 возбуждают плоскую ударную волну в образце соли 3, к которому приклеена пластина из плексигласа 4.

Внутри образца NaCl и на границе раздела соль — плексиглас устанавливались электромагнитные датчики 5 из алюминиевой фольги для регистрации массовой скорости вещества в ударной волне. x — t -диаграмма течения и траектории датчиков приведены на рис. 2. Осциллографмы массовой скорости показаны на рис. 3.

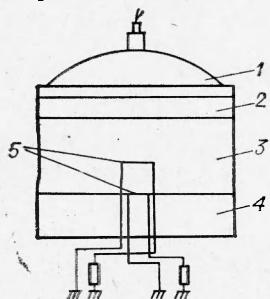


Рис. 1.

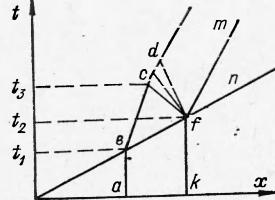


Рис. 2.

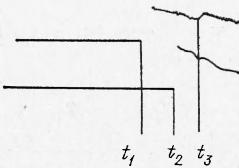


Рис. 3.

Фронт плоской ударной волны достигает перекладины первого и второго датчика соответственно в моменты t_1 и t_2 . После выхода ударной волны на границу соль — плексиглас назад распространяется волна разрежения fc (рис. 2), которая увеличивает массовую скорость, регистрируемую первым датчиком в момент t_3 . Средняя скорость волны разрежения на базе L между двумя датчиками

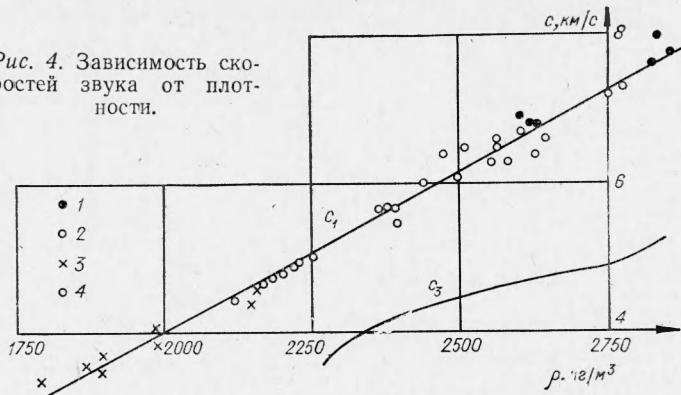
$$c_1 = u_0 + \left[L - \int_t^{t_3} u_1(t) dt \right] / (t_3 - t_2),$$

где $u_0 = (u_f + u_e)/2$ — среднее значение массовой скорости вещества вдоль траектории fc фронта разгрузки, $u_1(t)$ — массовая скорость, регистрируемая первым датчиком.

Величина u_f в соли на границе с плексигласом рассчитывалась по показаниям первого датчика, данным о затухании плоской ударной волны в NaCl и контролировалась по показаниям второго датчика. Уменьшение массовой скорости на базе между двумя датчиками обычно не превышало 7%. Погрешность отдельного измерения c_1 около 10%. Для повышения точности регистрация сигналов от датчиков проводилась одновременно на трех двухлучевых осциллографах ОК-17 и ОК-33. Опыты в одинаковых условиях повторялись. Для получения профиля ударной волны, близкого к ступенчатому, в большинстве опытов заряд и образец разделялись воздушным зазором толщиной около 5 мм.

Результаты измерения скорости волн разгрузки при плотности сжатого вещества 2120 и 1880 кг/м³ показаны на рис. 4, 1, 2 соответственно. Для сравнения на рис. 4, 3 представлены данные [11] ультразвуковых измерений скорости продольных волн в образцах NaCl различной плотности при нормальных условиях и рассчитанные скорости изэнтропической разгрузки $c_3 = (\partial p / \partial \rho)^{1/2}$. В расчете [11] использовались уравнение состояния в форме Дебая, измеренная статическая изотерма пористого NaCl и коэффициент Грюнайзена γ , обратно пропорциональный плотности, с коэффициентом пропорциональности, определенным из ультразвуковых измерений продольных и поперечной скоростей звука в образцах плотностью 1560–2150 кг/м³ при нормальных условиях. Рассчитанная по такому уравнению состояния ударная адиабата образцов NaCl различ-

Рис. 4. Зависимость скоростей звука от плотности.



ной пористости с погрешностью около 5% совпадала с результатами ее измерения.

Измеренные скорости c_1 волн разгрузки в ударно-сжатом NaCl не зависят от начальной плотности образцов и превышают расчетные скорости c_3 изэнтропической объемной разгрузки примерно на 40—50%. Поскольку фазовые переходы в состояния с более плотной упаковкой в исследованном диапазоне ударных сжатий не наблюдались, различие между c_1 и c_3 связано с упругой разгрузкой сжатых образцов соли. Поэтому измеренная скорость звука c_1 является скоростью продольных упругих волн разгрузки в ударно-сжатом NaCl. Экспериментальную зависимость $c_1(\rho)$ в исследованном диапазоне ударных сжатий можно описать эмпирической формулой (прямая на рис. 4)

$$c_1 = 4,5 \rho - 5100, \quad (1)$$

где c_1 — скорость, м/с, ρ — плотность, кг/м³. Формула (1) описывает и результаты ультразвуковых измерений продольной скорости звука в образцах различной плотности при нормальных условиях.

Отмеченное в опытах отсутствие влияния начальной пористости образцов на c_1 упругой разгрузки, видимо, связано с отсутствием пор в исследованном диапазоне давлений ($30 \div 150 \cdot 10^8$ Н/м²). Это подтверждается результатами оценок, согласно которым давление сжатия пор для исследованных образцов не превышает $15 \cdot 10^8$ Н/м².

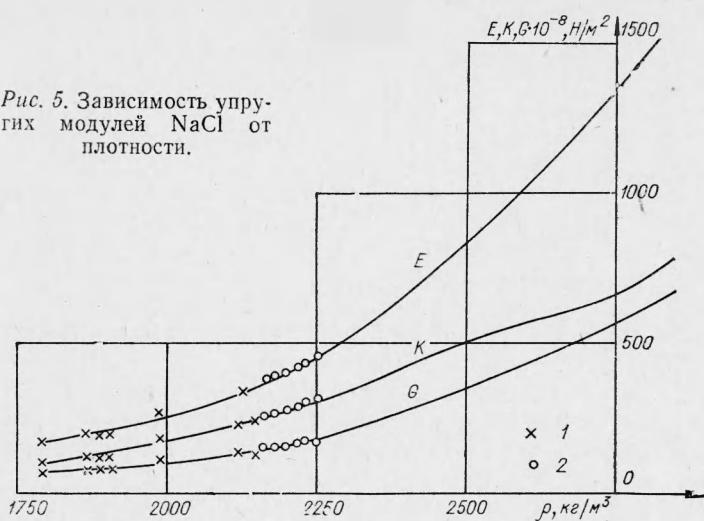
Для сравнения на рис. 4, 4 приведены средние значения скоростей продольных волн [12], измеренных ультразвуковым методом вдоль различных осей кристалла в диапазоне гидростатических давлений до $10 \cdot 10^8$ Н/м². Данные [12] согласуются с результатами остальных измерений.

С помощью измеренных упругих c_1 и рассчитанных объемных c_3 скоростей звука можно определить значения модуля Юнга E , модуля объемного сжатия K и модуля сдвига G в зависимости от плотности вещества за ударной волной из известных соотношений

$$c_1 = \sqrt{K + 4G/3}/\rho, \quad c_3 = \sqrt{K/\rho}. \quad (2)$$

На рис. 5 приведены зависимости упругих модулей от плотности NaCl, рассчитанные по формулам (2), и зависимости (1) для $c_1(\rho)$. На рис. 5, 1 показаны ультразвуковые измерения в образцах различной плотности при нормальных условиях. Для сравнения на рис. 5, 2 приведены значения упругих модулей, рассчитанных по средним скоростям продольных и поперечных волн в кристаллах, подвергнутых действию всестороннего гидростатического давления [12]. В пределах погрешности измерений все результаты описываются едиными зависимостями. Применение метода усреднения Хилла [13] для определения упругих модулей поликристаллического образца по ультразвуковым изме-

Рис. 5. Зависимость упругих модулей NaCl от плотности.



рениям в кристаллах [12] приводит к заниженным значениям упругих модулей по отношению к зависимостям рис. 5, видимо, из-за существенной анизотропии кристаллов NaCl.

Авторы благодарят А. А. Игнатова за помощь в проведении экспериментов.

Поступила в редакцию
10/VII 1973

ЛИТЕРАТУРА

- Л. В. Альтшuler. УФН, 1965, 85, 4.
- И. В. Белинский, Б. Д. Христофоров. ПМТФ, 1968, 1, 150.
- Б. Д. Христофоров. ФГВ, 1971, 7, 4.
- J. O. Egerton, A. B. Christensen. J. Appl. Phys., 1967, 38, 13.
- Chi-Nung Mok. J. Appl. Phys., 1968, 39, 4.
- С. А. Новиков, Л. М. Синицына. ПМТФ, 1970, 6.
- Л. В. Альтшuler, М. И. Бражник, Г. С. Телегин. ПМТФ, 1971, 6.
- М. В. Жерноклетов, В. Н. Зубарев. Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
- Ю. Л. Алексеев, В. П. Ратников, А. П. Рыбаков. ПМТФ, 1971, 2.
- Л. В. Альтшuler, М. Н. Павловский. ПМТФ, 1971, 1.
- Б. Д. Христофоров, Л. Д. Лифшиц и др. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1971, 8.
- D. Zazagias. J. Phys. Rev., 1949, 176, 4.
- Физическая акустика. Под ред. У. Мезона. Пер. с англ. Т. III, ч. Б. М., «Мир», 1968, стр. 47.

УДК 662.215.2+621.787

СХЛОПЫВАНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ ПРИ ВЗРЫВНОМ НАГРУЖЕНИИ

A. N. Михайлов, Ю. А. Гордополов, А. Н. Дремин
(Москва)

Основными динамическими параметрами, влияющими на качество шва при сварке взрывом, являются скорость точки контакта (v_k), угол и скорость соударения свариваемых поверхностей (α_c , v_c). Для определения