

ДВУХЖИДКОСТНАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОУДАРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН*

П. С. Уткин¹, С. В. Фортова²

Аннотация: Разработана двухжидкостная математическая модель для расчета высокоскоростного соударения металлических пластин конечной толщины. Каждый из материалов — сталь, из которой состоит одна пластина, свинец, из которого состоит другая, и окружающий воздух — считается сжимаемой жидкостью. Решаются уравнения типа Баера–Нунциато. Определяющая система уравнений имеет гиперболический тип, для ее численного решения используется метод HLL (Harten – Lax – Van Leer). Постановка задачи соответствует натурному опыту. Свинцовая пластина метается в направлении стальной со скоростью 500 м/с. Обе пластины имеют свободные границы. В расчетах получены основные характеристики процесса — формирование ударных волн (УВ), их движение к свободным границам пластин, отражение в виде волн разрежения (ВР), взаимодействие ВР с контактной границей металлов. Относительная погрешность параметров УВ по сравнению с известными расчетно-экспериментальными данными — не более 7%. Получена оценка ускорения контактной границы пластин при прохождении через нее ВР от свободной границы стальной пластины.

Ключевые слова: высокоскоростной удар; ударная волна; волна разрежения; двухжидкостная модель; математическое моделирование; гиперболическая система уравнений; метод HLL

DOI: 10.30826/CE18110414

Литература

1. Демченко В. В., Сергеев М. А. 2003. Неустойчивость поверхности соударения при высокоскоростном ударе // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. Т. 6. С. 111–121.
2. Годунов С. К., Киселев С. П., Куликов И. М., Мали В. И. Численное и экспериментальное моделирование образования волн при сварке взрывом // Труды Математического института имени В. А. Стеклова, 2013. Т. 281. № 1. С. 16–31.
3. Дерibas А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. — Новосибирск: Наука, 1972. 188 с.
4. Яковлев И. В. 1973. Неустойчивость границы раздела соударяющихся поверхностей металлов // Физика горения и взрыва. Т. 9. № 3. С. 447–452.
5. Saurel R., Abgrall R. A multiphase Godunov method for compressible multifluid and multiphase flows // J. Comput. Phys., 1999. Vol. 150. P. 425–467. doi: 10.1006/jcph.1999.6187.
6. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. — М.: Наука, 1976. 400 с.
7. Mader C. L. Numerical modeling of explosives and propellants. — CRC Press, 2008. 528 p.
8. Бабкин А. В., Колтаков В. И., Охитин В. Н., Селиванов В. В. Численные методы в задачах физики быстротекущих процессов. — 2-е изд. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 520 с.
9. Янилкин Ю. В., Шанин А. А., Ковалев Н. П. Комплекс программ ЭГАС для расчетов двумерных течений многокомпонентной среды // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 1993. Т. 4. С. 69–75.
10. Fortov V. E., Kim V. V., Lomonosov I. V., Matveichev A. V., Ostriak A. V. 2006. Numerical modeling of hypervelocity impacts // Int. J. Impact Eng., 2006. Vol. 33. P. 244–253. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2006.09.031.
11. Fortov V. E., Khishchenko K. V., Levashov P. R., Lomonosov I. V. Wide-range multi-phase equations of state for metals // Nucl. Instrum. Meth. A, 1998. Vol. 415. P. 604–608.
12. Shock wave database. <http://www.iherd.ras.ru/rusbank/>.
13. Белоцерковский О. М., Фортова С. В., Трошкин О. В., Пронина А. П., Ериклинцев И. В., С. А. Козлов. Численное моделирование высокоскоростного столкновения металлических пластин // Математическое моделирование, 2016. Т. 28. № 2. С. 19–30.

Поступила в редакцию 18.01.18

*Работа выполнена в ИАП РАН при поддержке Российского научного фонда (грант № 17-11-01293).

¹Институт автоматизации проектирования Российской академии наук; Московский физико-технический институт, pavel_utk@mail.ru

²Институт автоматизации проектирования Российской академии наук, sfortova@mail.ru