

01

©1994

О ТОНКОЙ СТРУКТУРЕ ФРОНТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛОКАЛЬНОМ РАЗОГРЕВЕ В ОДНОМЕРНОЙ РЕШЕТКЕ

С.Г.Псахье, Д.Ю.Сараев, С.Ю.Коростелев

Методы высокоэнергетического импульсного воздействия позволяют существенно изменять свойства и структуру материалов. Этим обусловлено их широкое практическое применение [1-3]. Экспериментальное исследование механизмов отклика материала, особенно на атомном уровне, при импульсном воздействии является исключительно сложной задачей из-за малых характерных времен и масштабов. Это определило широкое использование методов моделирования при решении подобных задач. Следует отметить, что основное внимание обычно уделяется моделированию ударно-волнового нагружения [4-7]. В то же время в последние годы получил развитие такой метод, как облучение металлов и сплавов импульсными сильноточными электронными пучками наносекундной длительности [8,9]. Под воздействием такого облучения на расстоянии нескольких десятков микрон (в зависимости от мощности [9]) формируется область локального разогрева. Это приводит к возбуждению и распространению в материале нелинейной волны [8].

Общие закономерности распространения таких возмущений по аналогии с ударными волнами могут быть изучены на основе использования одномерных моделей [5,10,11]. Использование такого подхода позволяет непосредственно исследовать нелинейные свойства системы, поскольку отсутствуют эффекты, связанные с перестройкой атомной структуры.

Для решения этой задачи в настоящей работе моделировалась одномерная решетка алюминия с потенциалом взаимодействия, рассчитанным на основе метода псевдопотенциала [12]. В начальный момент времени задается локальная область с высокой температурой. Интенсивный локальный разогрев приводит к резкому тепловому расширению такой области и, как следствие, инициирует в среде волну возмущения. В работе представлены результаты, полученные при температуре импульсного локального разогрева $T = 3000$ К.

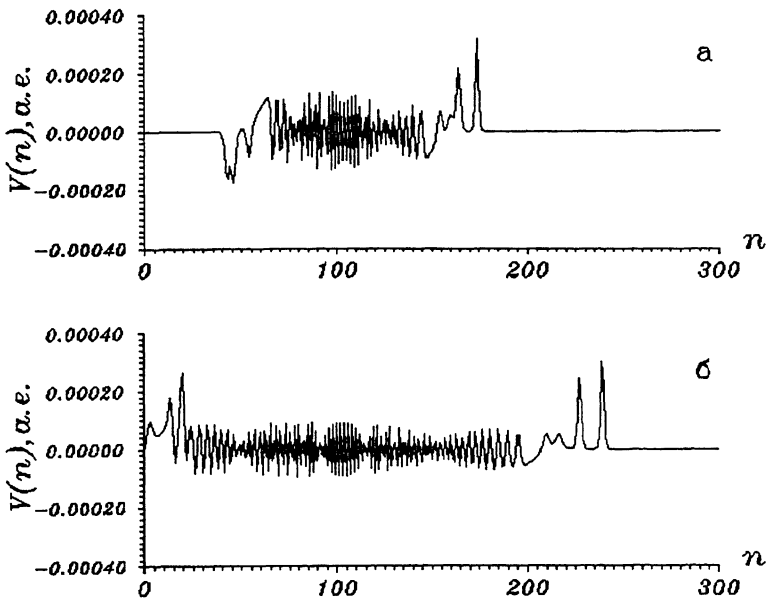


Рис. 1. Распределение скоростей в цепочке атомов. *a* — в момент времени $t = 100000$ а.е.; *b* — в момент времени $t = 200000$ а.е. (Здесь и далее, как и в [3,4,7] использована атомная система единиц, в которой постоянная Планка, масса и заряд электрона, а также боровский радиус равны единице).

Характер распространения возмущения в такой системе можно проследить на рис. 1, *a* и *b*, где показано распределение скорости движения атомов в цепочке. Видно, что распространение возмущения имеет фронтальный вид с выраженными пиками, которые движутся со скоростью большей, чем основное возмущение. По аналогии с [6], эволюцию распространения возмущения в системе можно проследить, рассматривая зависимости скоростей от времени для различных атомов $V_n(t)$. На рис. 2 эти зависимости приведены для 150, 200, 203, 450 и 453-го атомов. Хорошо видно, как начинают формироваться уединенные волны (рис. 2, *a*). На графике $V_{200,203}(t)$ (рис. 2, *b*) видно, что уединенная волна с большей амплитудой догоняет и начинает проходить через другую с меньшей амплитудой. И на графике $V_{450,453}(t)$ (рис. 2, *в*) хорошо видно, что уединенная волна с большей амплитудой прошла сквозь уединенную волну с меньшей амплитудой, не изменив своей формы и амплитуды. Характерно, что обе уединенные волны значительно оторвались от основного возмущения. Это дает основание полагать, что уединенные волны, которые фор-

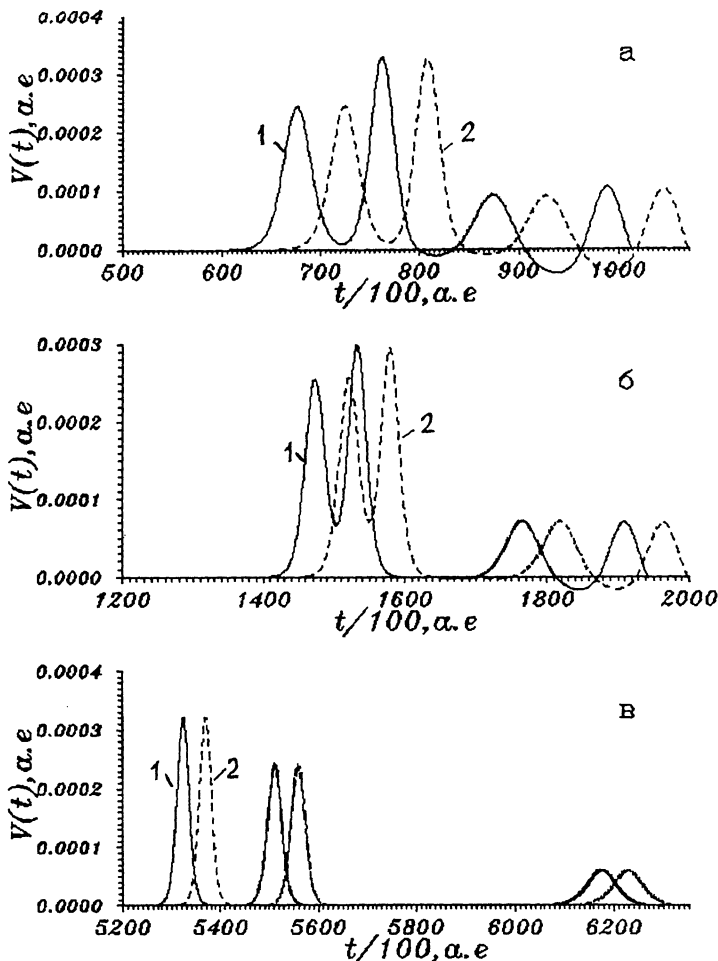


Рис. 2. Зависимость скорости атома от времени. а — 150-го (1) и 153-го (2), б — 200-го (1) и 203-го (2), в — 450-го (1) и 453-го (2).

мируются при импульсном локальном разогреве являются солитонами, поведение которых во многом подобно поведению солитонов при распространении ударных волн [3,6,10,11]. Таким образом, существует определенная общность между распространением фронта ударной волны в нелинейной среде и распространением фронта возмущения, обусловленного локальным импульсным разогревом. В обоих случаях передняя часть фронта представляет собой набор солитонов. Это дает основание применять многочисленные экспериментальные и теоретические результаты и закономерности распространения фронта ударной волны для анализа распространения фронта возмущения, обусловленного локальным импульсным разогревом. Однако не следует забы-

вать, что поведение возмущений, следующих за фронтом в обоих случаях, будет существенно различаться. Так, в случае ударной волны за уединенными волнами следует волна сжатия, в случае же импульсного локального разогрева, как можно видеть на рис. 1, вместо волн сжатия движется тепловая волна. Поэтому следует ожидать, что воздействие фронта возмущения, обусловленного импульсным локальным разогревом будет носить более сложный характер, чем при распространении ударной волны.

Список литературы

- [1] *Prummer R.* Explosivverdichtung pulvriger substanzen, Springer-Verlag, Berlin, 1987. P. 128.
- [2] *Нестеренко В.Ф.* // ФГВ. 1985. Т. 21. В. 6. С. 85-98.
- [3] *Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И.* и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Новосибирск: Наука, 1990. 255 с.
- [4] *Коростелев С.Ю., Псагье С.Г., Панин В.Е.* // ФГВ. 1988. Т. 24. В. 6. С. 124-127.
- [5] *Straub G.K., Holian V.L., Petscheck R.G.* // Phys. Rev. 1979. V. B19. N 8. P. 4049-4054.
- [6] *Betteh J., Powel J.* // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 7. P. 3933-3941.
- [7] *Псагье С.Г., Коростелев С.Ю., Панин В.Е.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 18. С. 1645-1648.
- [8] *Лыков С.В., Итин В.И., Месяц Г.А., Проскуровский Д.И., Ротштейн В.П.* // ДАН. 1990. Т. 310. В. 4. С. 858-860.
- [9] *Итин В.И., Кашинская И.С., Лыков С.В., Озур Г.Е., Проскуровский Д.И., Ротштейн В.П.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 5. С. 89-92.
- [10] *Дынин Е.А.* // ФГВ. 1983. Т. 19. В. 1. С. 111-121.
- [11] *Tasi J.* // J. Appl. Phys. 1980. V. 51. N 11. P. 5804-5816.
- [12] *Псагье С.Г., Панин В.Е., Чулков Е.В.* // ФММ. 1980. Т. 50. В. 3. С. 620-622.

Институт физики
прочности и материаловедения
Томск

Поступило в Редакцию
26 ноября 1993 г.