

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНЫХ ВОЛН С ДИФРАКЦИОННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Минин И.В., Минин О.В.

Институт прикладных физических проблем, Новосибирск.

E-mail: iapp@online.sinor.ru

В работе [1] впервые было показано, что элементы дифракционной квазиоптики [2], предназначенные для фокусировки электромагнитного излучения в произвольную пространственную конфигурацию, могут быть использованы в физике высоких плотностей энергии [3] и, в частности, «привнесены» в механику сплошных сред, например, для фокусировки ударных волн. Исследования динамики фокусировки ударных волн, падающих на сложные квазипериодические структуры [4,5] показали, что принципиально возможна фокусировка ударных волн в произвольную пространственную конфигурацию в существенно нелинейном режиме.

В работе [6] приведены результаты экспериментальных исследований по взаимодействию плоской ударной волны в воздухе с коническим препятствием (Рис.1). Дело в том, что столкновение двух плоских ударных волн одинаковой интенсивности под некоторым углом ввиду симметричности задачи эквивалентно отражению косой УВ от абсолютно жесткой преграды, установленной под вдвое меньшим углом к фронту волны. В случае, когда падающая УВ и отраженная УВ пересекаются в точке над отражающей поверхностью, возникает третья волна – волна Маха и контактный разрыв. То есть имеет место т.н. нерегулярное взаимодействие волн. В [6] экспериментально показано, что если выполнить поверхность жесткой преграды в виде дифракционной решетки, то течение из нерегулярного переходит в регулярное, происходит разрушение т.н. маховской ударной волны.

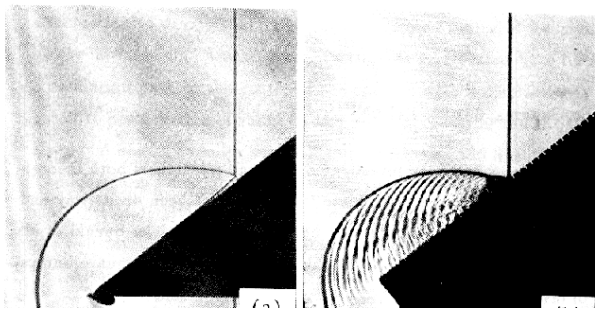


Рис.1. Взаимодействие плоской ударной волны с коническим препятствием с плоской поверхностью и выполненной в виде дифракционной решетки [6].

В то же время вопрос о взаимодействии плоских ударных волн с дифракционной решеткой, динамика и физика процесса детально в литературе не рассматривался.

Наши исследования проводились в форме вычислительного эксперимента [7,8] на примере распространения ударных волн в воде, при этом сам дифракционный элемент представлял собой «абсолютно жесткое» тело, то есть вопрос о распространении и взаимодействии ударных волн в «теле» дифракционного элемента в таких задачах не рассматривался.

В различных прикладных задачах современной физики, таких как, например, вопросы магнитно-импульсной сварки, сварки взрывом, проблемы создания взрывозащитных камер, защитных экранов для банковских сейфов и многое другое, приходится решать проблему гашения сильных ударных волн в твердых материалах.

Ниже будет показано, что применение дифракционных структур позволяет принципиально решить указанные проблемы.

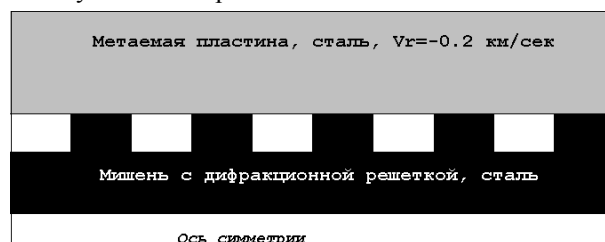


Рис.2. Геометрия задачи.

Геометрия задачи применительно к проблеме магнитно-импульсной сварки показана на рисунке 2. Схлопывающийся к оси симметрии задачи стальной цилиндр с радиальной скоростью, характерной для задач магнитно-импульсной сварки и сварки взрывом около 200 м/сек, взаимодействует с цилиндрической стальной мишенью, внешняя поверхность которой выполнена в виде периодической (в данном случае) дифракционной решетки. Цель задачи – погасить интенсивную ударную волну в материале мишени. Исследования проводились в форме вычислительного эксперимента по методикам и на программном комплексе, описанном в работах [7,8].

С целью выяснения особенностей взаимодействия падающей сходящейся к оси симметрии цилиндрической ударной волны с элементом («зубцом») дифракционной решетки была решена серия модельных задач, простейшая из которых показана на рисунке 3.

Вид распределения давления в материале мишени вдоль линии, показанной штрих пунктиром, приведен в нижней части рисунка 3 на момент времени, соответствующему прохождению ударной волной расстояния в материале мишени, равного глубине ячейки решетки. Видно, что давление в прошедшей через одинарный элемент решетки тороидальной ударной волне на порядок величины ($P=0.05$ GPa) меньше, чем в случае использования монолитной мишени ($P=1.7$ GPa). Данный эффект обусловлен особенностями взаимодействия (интерференцией) ударных волн и волн разрежения в области контакта ударника с зубцом дифракционной решетки на поверхности мишени. Динамика распространения тороидальных волн сжатия отчетливо прослеживается на Рис.4.

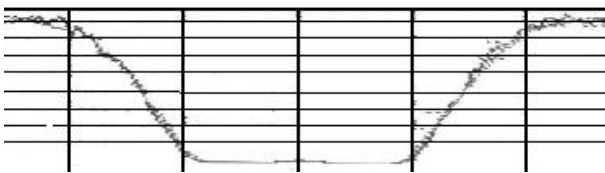
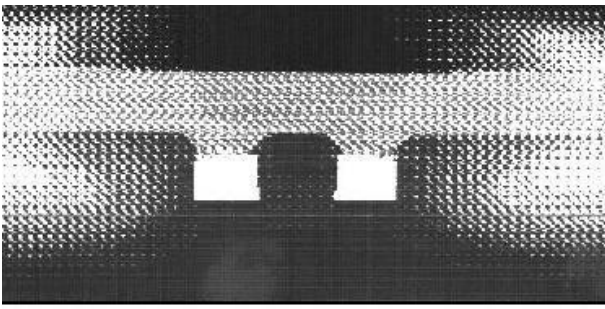


Рис.3. Взаимодействие ударной волны с «зубцом» дифракционной решетки.

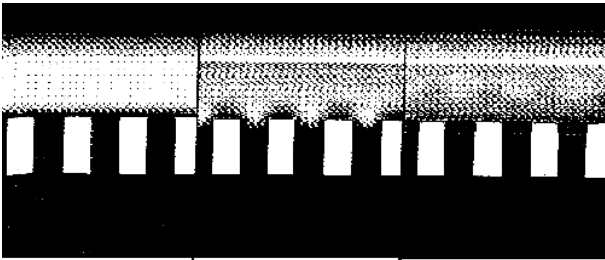


Рис.4. Динамика взаимодействия ударной волны с дифракционной решеткой.

Изучение распределения давления в материале ударника показало, что оно качественно носит такой же характер с быстро диссипирующим пиком амплитуды давления над областью зубца элемента дифракционной решетки.

Исследование характеристик динамики изменения параметров давления в материале ударника в геометрии, приведенной на рисунке 1 показало, что распределение давления вдоль линии, параллельной оси симметрии задачи над областью дифракционной решетки носит периодический характер с периодом, соответствующим периоду решетки. Интересно отметить, что осциллирующий характер распределения давления вдоль дифракционной решетки с течением времени изменяется на противофазный, а амплитуда давления быстро затухает.

Увеличение периода решетки в два раза (с одновременным пропорциональным увеличением ширины зубцов решетки) приводит к двум качественным изменениям:

- К соответствующему увеличению периода осцилляций давления, что достаточно очевидно, и
- К увеличению амплитуды осцилляций примерно в три раза, т.е. амплитуда осцилляций в распределении давления вдоль дифракционной решетки нелинейным образом зависит

от периода решетки. Более того, увеличение периода решетки приводит к увеличению «времени жизни» осцилляций давления в фиксированной области над решеткой.

Эффект гашения распространяющейся в мишени с дифракционной решеткой ударной волны можно объяснить достаточно легко: он обусловлен взаимодействием тороидальной ударной волны и волн разрежения от боковых поверхностей зубцов решетки, поскольку вследствие интерференции указанных волн сжатия и разгрузки происходит быстрое гашение ударной волны, распространяющейся в материале зубцов мишени.

Таким образом в настоящей работе предложен способ гашения ударных волн, распространяющихся в материале твердого тела с помощью дифракционных структур. На примере конфигурации и условий задачи, характерной для вопросов магнитно-импульсной сварки и сварки взрывом, показана принципиальная возможность осуществления данного механизма и качественным образом проанализированы особенности динамики взаимодействия ударных волн сжатия и разрежения.

Литература

1. Минин И.В., Минин О.В. О возможности фокусировки ударных волн дифракционными элементами. – В сб.: «Волны и дифракция – 90», М., МФТИ, 1990, с.187-189.
2. Минин И.В., Минин О.В. Дифракционная квазиоптика. – М., НПО «ИнформТЭИ», 1992, 180 с.
3. Минин И.В., Минин О.В. Дифракционная оптика в физике высоких плотностей энергии. – В сб.: «Волны и дифракция – 90», М., МФТИ, 1990, с. 194-196.
4. Minin V.F., Minin I.V., Minin O.V. The dynamics of shock wave focusing with the elements of diffraction quasiotics. – The 18th Int. Symp. On Shock Waves. Sendai, July 21-26, 1991, p.39-40.
5. Minin I.V., Minin O.V. The numerical experiments on dynamics of shock wave interaction with regular and quasiregular diffraction gratings. – Proc. of the Int. Symp. On Intense Dynamic Loading and its Effects. Chengdu, China, June 9-12, 1992, p.434-437.
6. Kobayashi S., Adachi T., Suzuki T. Unsteady behavior of Mach reflection over particulate layer. – The 18th Int. Symp. On Shock Waves. Sendai, July 21-26, 1991, p.55-56.
7. Minin V.F., Minin I.V., Minin O.V. The calculation experiment technology. – Proc. of the Int. Symp. On Intense Dynamic Loading and its Effects. Chengdu, China, June 9-12, 1992, p.431-433.
8. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Технология вычислительного эксперимента. – Математическое моделирование, 1992, т.4, N 12, с.65-67.