

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.

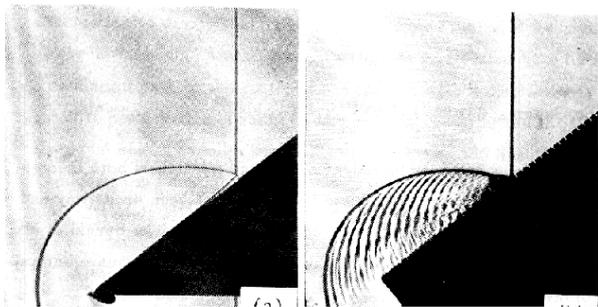


Рис.1. Взаимодействие плоской ударной волны с коническим препятствием с плоской поверхностью и выполненной в виде дифракционной решетки [6].

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.

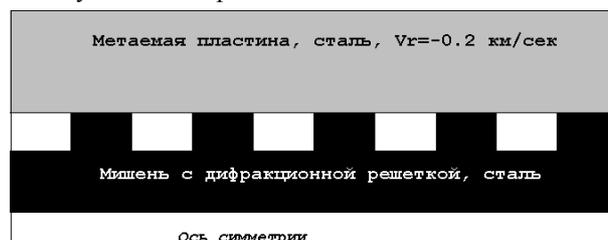


Рис.2. Геометрия задачи.

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.

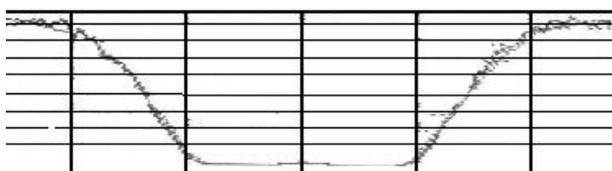
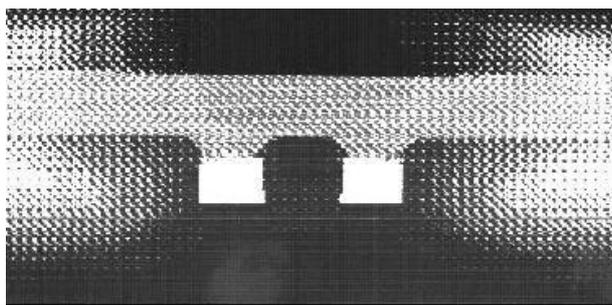


Рис.3. Взаимодействие ударной волны с «зубцом» дифракционной решетки.

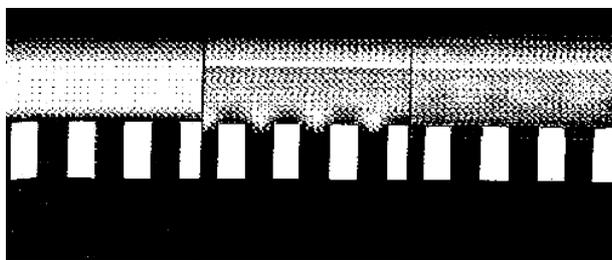


Рис.4. Динамика взаимодействия ударной волны с дифракционной решеткой.

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.

Interaction of shock waves with diffraction gratings

I.V. Minin, O.V. Minin

Institute of Applied Physical Problems, Novosibirsk

Abstract

This work proposes a method that uses diffraction structures to damp shock waves propagating in solid material. A problem, typical for the magnetic pulse welding and explosion welding, is used as an example to show the general possibility of implementing this mechanism and perform qualitative evaluation of the peculiarities of the interaction dynamics of compression and depression shock waves.

Citation: Minin IV, Minin OV. Interaction of shock waves with diffraction gratings. *Computer Optics* 1999; 19: 52 - 53.

References

- [1] Minin IV, Minin OV. The possibility of shock wave focusing by diffractive elements. In collection: "Waves and diffraction – 90"; Moscow: MIPT; 1990: 187-189.
- [2] Minin IV, Minin OV. Diffractive quasi-optics. Moscow: InformTEI; 1992: 180.
- [3] Minin IV, Minin OV. Diffractive optics in high energy density physics. In collection: "Waves and diffraction – 90"; Moscow: MIPT; 1990: 194-196.
- [4] Minin V.F., Minin I.V., Minin O.V. The dynamics of shock wave focusing with the elements of diffraction quasi-optics. – 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] Minin VF, Minin IV, Minin OV. Calculation experiment technology. *Mathematical Simulation*; 1992; 4(12): 65-67.