

маховскими ножками пробка газа имеет высокие параметры на длине, равной диаметру трубы, что может быть использовано для технологических приложений газовой детонации, например для детонационного напыления.

Поступила в редакцию  
20/IV 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Гавриленко, Ю. А. Николаев, М. Е. Топчийн. ФГВ, 1979, 15, 5.
2. Т. П. Гавриленко, Е. С. Прохоров. Матер. VI Всесоз. симп. по горению и взрыву, Черноголовка, 1980.
3. В. И. Манжалец, В. А. Субботин. ФГВ, 1976, 12, 6.
4. В. Е. Гордеев. Докл. АН СССР, 1976, 226, 3.

### ВЛИЯНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО РАЗРЫВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СОУДАРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

В. В. Сильвестров  
(Новосибирск)

Возникновение волн на поверхности раздела при косом соударении металлических пластин [1] в ряде работ связывается с неустойчивостью тангенциального разрыва, реализуемого за счет образования обратной струи перед точкой контакта [2] или движения переходного слоя за точкой контакта [3]. Роль точки контакта сводится к генерации случайных возмущений, дальнейшее развитие которых происходит по механизму гидродинамической неустойчивости Кельвина — Гельмгольца. Согласно другому варианту теории, параметры волн определяются геометрическими характеристиками течения и свойствами материала в окрестности точки контакта [1, 4]. Поэтому определенный интерес представляет исследование устойчивости поверхности раздела при наличии только тангенциального разрыва в условиях, приближенных (по величине и длительности импульса давления, интенсивности тангенциального разрыва) к реализуемым в обычной схеме сварки взрывом.

В работе рассмотрены две схемы плоского столкновения металлических пластин при наличии тангенциального разрыва в значениях касательной (к поверхности соударения) составляющей скорости  $v_{\tau}$ . В первой схеме (рис. 1, а) — ударник 1 толщиной  $\delta_1 = 3-5$  мм, разогнанный до скорости  $v_1 = 550-650$  м/с, соударяется с мишенью 2 ( $\delta_2 = 1$  см, диа-

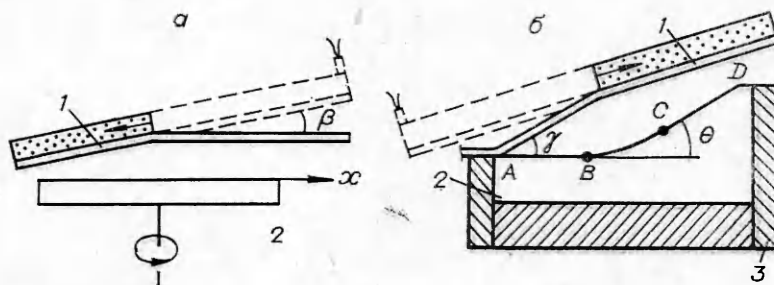


Рис. 1.

метр 20 см). Ударник устанавливается по отношению к мишени под отрицательным углом, равным углу поворота пластины  $\beta$  за детонационным фронтом. После детонации и поворота метаемой пластины происходило столкновение, близкое к плоскому с углом соударения  $\gamma = 0 \pm 0,5^\circ$ . Тангенциальный разрыв создавался вращением мишени со скоростью 16000 об/мин и составлял  $\Delta v_\tau = 0 \div 167$  м/с. Менее интенсивный разрыв  $\Delta v_x = v_1 \sin(\beta/2) \sim 55$  м/с в направлении  $x$  обусловлен тем, что при скользящем метании вектор скорости направлен не по нормали к поверхности пластины [1].

Рассмотрены пары медь — медь и дюралюминий — дюралюминий. В обоих случаях на соударяющихся плоскостях не обнаружено ни следов пластической деформации, ни следов проявления какой-либо неустойчивости, несмотря на наличие тангенциального разрыва. Давление соударения составляло 5 и 10 ГПа, и наблюдалось интенсивное откольное разрушение мишени. При этом механическая чистота поверхностей раздела оставалась практически той же, что и до соударения:  $\sqrt{h^2} \approx 2,5$  мкм. Эти обстоятельства позволили предположить, что при плоском столкновении в воздухе при нормальном давлении механическое взаимодействие пластин не происходит ввиду наличия газовой прокладки, препятствующей физическому контакту материала пластин. Иначе подобные опыты необходимо ставить в вакууме, когда длина свободного пробега молекулы воздуха больше начального расстояния  $l$  между пластинами. При типичных  $l \sim 1 \div 3$  см необходимо разрежение менее  $10^{-1}$  Па.

В опытах по схеме рис. 1, б сборка откачивалась адсорбционным насосом [5] до давления менее  $10^{-2}$  Па. В качестве адсорбента использовался цеолит марки А5, предварительно прогреваемый в вакууме при  $250^\circ\text{C}$  и перед опытом охлажденный жидким азотом. Ударник 1 из нержавеющей стали ( $\delta_1 = 3$  мм) ускорялся до  $v_1 = 1$  км/с и ударял по медной мишени 2, заключенной в ампулу сохранения 3. Мишень выполнена в виде тупого угла со скругленной вершиной ( $\theta = 26,5^\circ$ , радиус сопряжения 5 см). На участке  $CD$  выполнялось условие  $\gamma = \theta$  и осуществлялось плоское соударение с тангенциальным разрывом  $\Delta v_\tau = -115$  м/с.

Фотография шлифа полученного соединения приведена на рис. 2. Величина остаточной линейной деформации мишени составляла около 1%, что позволяет с погрешностью 1 мм выделить на шлифе характерные точки профиля. На участке  $AB$  реализуется обычный режим сварки взрывом с  $\gamma_0 = 26,5^\circ$ ,  $v_k = 2,2$  км/с,  $\lambda = 5,3$  мм. На отрезке  $CD$  точки контакта нет, и происходит расслоение пластин, несмотря на наличие тангенциального разрыва. На соударяющихся плоскостях — следы интенсивной пластической деформации.

На участке сопряжения  $BC$  угол соударения уменьшается до нуля, а расчетное значение скорости точки контакта  $v_k$  растет, проходя в точке

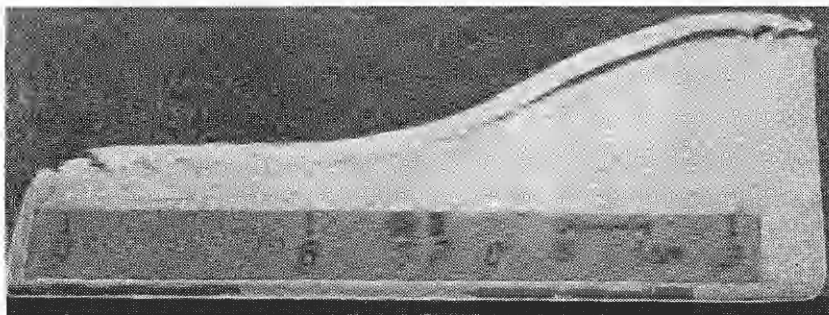


Рис. 2.

$S$  через скорость звука в меди. В точке  $P$  угол соударения становится меньше критического  $\gamma_{кр} = 10^\circ$ , определенного по [6]. Положение точек  $S$  и  $P$  малочувствительно к возможным ошибкам в величине  $\gamma_0$ : изменение  $\gamma_0$  на 10% приводит к смещению координаты точек на  $\pm 1$  мм. При этом в точке  $P$   $v_k = 6 \div 6,4$  км/с. На участке  $BP$  получено достаточно прочное соединение, не разрываемое в волне разгрузки. На отрезке  $CP$  течение в окрестности точки контакта становится сверхзвуковым [1, 6], и вдоль шва наблюдаются трещины, хотя расслоение пластин не происходит.

В опытах характерное время действия импульса высокого давления и тангенциального разрыва на границе раздела до прихода растягивающих напряжений со стороны свободных поверхностей составляло около 2 мкс. Полученные результаты показывают, что поверхность соударения пластин при плоском столкновении остается устойчивой, несмотря на наличие тангенциального разрыва с интенсивностью до 170 м/с. Возмущения поверхности раздела не успевают вырасти по механизму неустойчивости Кельвина — Гельмгольца до наблюдаемого размера, что, возможно, связано как с малым временем существования разрыва, так и с малой амплитудой исходных, случайных «затравочных» возмущений поверхности при плоском столкновении.

Следует отметить, что в [7] приведены данные, свидетельствующие «...о возможности развития неустойчивости Кельвина — Гельмгольца в металлах под действием ударных волн при величине тангенциального разрыва  $\Delta u \sim 0,5$  мм/мкс...». Однако использованная экспериментальная постановка сложна для однозначной интерпретации результатов опыта. Например, непонятно, почему на границе  $b$  (обозначения по [7]) не наблюдается образования волн, хотя границы  $a$  и  $b$  при торможении находятся, по сути дела, в одинаковых условиях.

Автор признателен Л. В. Овсянникову за постановку задачи и В. М. Титову за полезные обсуждения.

Поступила в редакцию  
26/III 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1980.
2. Дж. Н. Хант. Механика, 1969, 1, 140.
3. Ю. А. Гордополов, А. Н. Дремин, А. Н. Михайлов. ФГВ, 1978, 14, 4, 77.
4. С. К. Годунов, А. А. Дерибас, Н. С. Козин. ПМТФ, 1971, 3, 63.
5. С. Дэшман. Научные основы вакуумной техники. М.: Мир, 1964.
6. Г. Е. Кузьмин, И. В. Яковлев. ФГВ, 1973, 9, 5, 746.
7. А. Н. Михайлов. ФГВ, 1979, 15, 2, 158.