

М. Адамец, Б. С. Злобин, А. А. Штерцер

УДАРНО-ВОЛНОВАЯ КОНФИГУРАЦИЯ В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ ПРИ КОСОМ СОУДАРЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

С помощью 4-кадрового фоторегистратора на электронно-оптических преобразователях СНЕФ-4 проводилась съемка ударных волн в воздушном зазоре между соударяющимися пластинами. Показано, что при метании пластины в зазоре генерируется косая ударная волна, взаимодействие которой с нижней пластиной происходит в виде простого маховского отражения. Маховская ножка движется в 1,3 раза быстрее скорости детонации ВВ.

Воздух или другие газы, содержащиеся в зазоре между пластинами, свариваемыми взрывом, оказывают, заметное влияние на результат сварки [1]. В [2] фоторегистратором СФР-2М по степени почернения фотопленки определялась температура воздуха, сжатого ударной волной (УВ), генерируемой в процессе схлопывания зазора. Методика и приборы, примененные в [2], не позволяют зарегистрировать непосредственно ударно-волновую картину в зазоре, хотя и дают возможность вычислить параметры УВ по измеренной температуре. Аналогичная методика применялась в [3] при определении параметров газа, разлетающегося от свободной поверхности пористого тела (порошок Mg).

В настоящей работе использована аппаратура, позволяющая регистрировать фронт УВ в зазоре между свариваемыми пластинами. Фоторегистратор — 4-кадровая установка СНЕФ-4 с электронно-оптическим преобразователем, обеспечивающая время экспозиции 50 нс. Время между кадрами задается в интервале от 0,1 мкс до 100 мс. Счетчик, фиксирующий время между кадрами, можно использовать для электроконтактных измерений скорости детонации и других параметров. В сочетании со взрывной камерой СНЕФ-4 позволяет значительно расширить существующие возможности регистрации быстропротекающих процессов.

На рис. 1 показаны снимки процесса метания латунной пластины толщиной $\Delta = 2,5$ мм на алюминиевую подложку зарядом аммонита 15GN3 (польского производства). Плотность ВВ $\rho_{ВВ} = 0,86$ г/см³, высота заряда $h_{ВВ} = 25$ мм, скорость детонации $D = 3,3$ км/с. Проводилась покадровая фоторегистрация процессов, происходящих в зазоре между пластинами с импульсной подсветкой. Ширина зазора — 25 мм. В определенный момент метания в зазоре формируются две УВ (рис. 1, а), которые, как показывает последующая съемка, далее сливаются в одну волну с наклоном фронта 18°. Эта косая УВ слабая. Оценка по таблицам из [4] дает следующие значения параметров за фронтом: давление $p \approx 11$ атм, температура $T \approx 800$ К, $\rho \approx 5,2$ кг/м³ ($\rho/\rho_0 = 4$).

При взаимодействии этой УВ с алюминиевой подложкой происходит простое маховское отражение [5, 6] с образованием ножки, движущейся со скоростью 4,3 км/с, т. е. в 1,3 раза большей скорости детонации

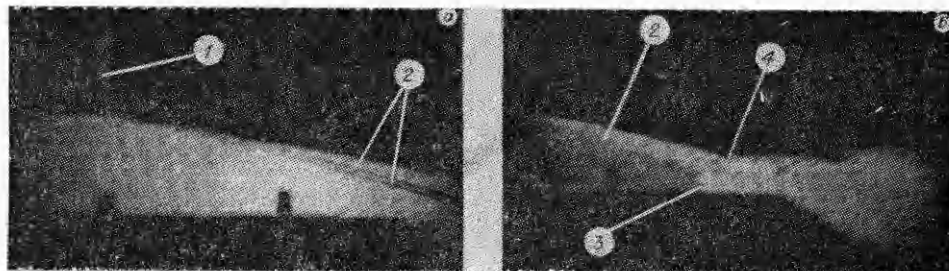


Рис. 1. Ударные волны в воздушном зазоре при метании пластины. а — две косых УВ; б — маховское отражение УВ от подложки и метаемой пластины. 1 — фронт детонации; 2 — косая УВ; 3 — маховская ножка при отражении косой УВ от подложки; 4 — маховская ножка при отражении УВ от метаемой пластины (вторичная УВ).

(рис. 1, б). В отличие от косо́й УВ, газ за маховской ножкой уже частично диссоциирован. Параметры сжатого воздуха определены из [7]: $p \approx 200$ атм, $T \approx 5600$ К, $\rho \approx 12,0$ кг/м³ ($\rho/\rho_0 \approx 9,2$). Далее, от верхней метаемой пластины идет вторичное маховское отражение (см. рис. 1, б). Для определения параметров за вторичной волной считаем, что она движется со скоростью детонации 3,3 км/с (стационарная ситуация). Тогда скорость вторичной волны относительно газа за фронтом косо́й волны составляет 3,1 км/с. Используя приведенные выше параметры воздуха за косо́й волной, методом последовательных приближений подбирая значения показателя адиабаты и удельной теплоемкости, найдем для газа за вторичной волной: $p \approx 440$ атм, $T \approx 4000$ К, $\rho \approx 38,9$ кг/м³.

Температура за фронтом УВ очень чувствительна к движению фронта детонации. Так, если считать, что вся ударно-волновая конфигурация, изображенная на рис. 1, движется вместе с фронтом детонации со скоростью 3,3 км/с, то за первой маховской ножкой будет $T \approx 4000$ К, т. е. такая же, как и за вторичным фронтом. При этом $p \approx 115$ атм и $\rho \approx 10,5$ кг/м³ за первой маховской волной существенно отличаются от этих параметров за вторичной волной.

В [2] отмечено, что слабое свечение в верхней части зазора обусловлено отражением излучения от наклонного участка верхней пластины. На наш взгляд, приведенная на рис. 1 структура фронта УВ в зазоре показывает, что указанное слабое свечение связано с тем, что в косо́й УВ газ разогрет до температуры, существенно более низкой, чем за прямой волной в нижней части зазора. Теоретическое предположение о существовании ударно-волновой конфигурации, подобной изображенной на рис. 1, сделано в [8]. Превышение регистрируемых температур над рассчитываемыми по ударной адиабате в предположении стационарного движения УВ, вероятно, связано с наличием квазистационарного маховского отражения косо́й УВ от нижней пластины.

Более сложен вопрос о влиянии потока металлических частиц, исходящих из точки контакта, на формирование и движение УВ в зазоре. По-видимому, для строгого решения задачи не следует рассматривать среду за УВ в зазоре просто как газ из диссоциированных и ионизированных молекул азота, кислорода и других газов, входящих в состав воздуха. Необходимо рассматривать эту среду как двухфазную смесь газ + частички металла [9]. Аналогичные [9] эксперименты, в которых с помощью мишеней фиксировалось наличие металлических частиц в зазоре в режимах сварки взрывом, выполнены и авторами настоящей статьи. Кроме того, проведена оптическая регистрация выхода УВ и металлических частиц из зазора.

На рис. 2 приведены кадры из эксперимента, в котором оптическая ось камеры расположена перпендикулярно плоскости соударения (съемка в плане). Виден выход УВ и отдельные частицы. В этой ситуа-

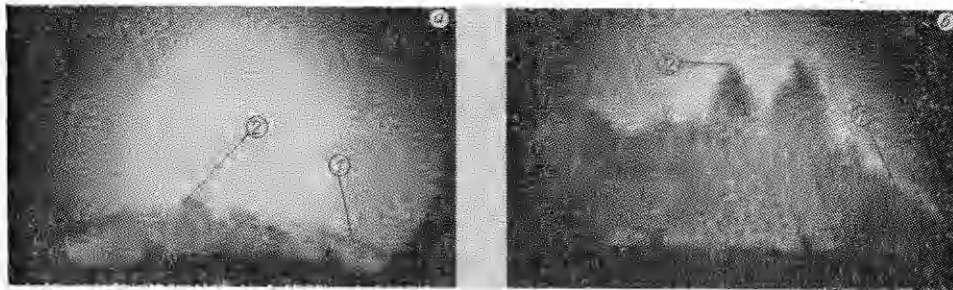


Рис. 2. Выход воздушной УВ и потока частиц из зазора в конце свариваемых пластин.

а — частицы догнали фронт УВ, сформировавшейся в зазоре; б — частицы опередили фронт УВ, сформировавшейся в зазоре. 1 — фронт затухающей УВ; 2 — высокоскоростные частицы (скорость 2,4 км/с). Скорость детонации в эксперименте — 2,0 км/с; угол соударения (расчетный) — 9°. Металась на сталь алюминевая пластина с $\Delta = 10$ мм.

ции плотность вещества за фронтом УВ в зазоре определяется не только захватыванием при движении фронта воздуха, но и количеством «впрыскиваемых» в зазор частиц с поверхности пластин. Это в свою очередь, влияет на скорость движения ударного фронта. Поскольку при соударении пластин в режимах сварки взрывом и при схлопывании поверхностей частиц порошка при нагружении его ударными волнами происходят одинаковые течения в зазоре и в порах, то в двухфазной смеси частицы металла участвуют в излучении света аналогично [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Richter U. und Roth J. F. Grundlagen und Anwendung des Sprengplattierens // Die Naturwissenschaften, 57 Jahrgang, 1970.— Heft 10.— S. 487—493.
2. Ишуткин С. Н., Кирко В. И., Симонов В. А. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа на поверхность соударяющихся пластин // ФГВ.— 1980.— 16, № 6.— С. 69—73.
3. Беляков Г. В., Родионов В. Н., Самосадный В. П. О разогреве пористого вещества при ударном сжатии // Там же.— 1977.— 13, № 4.— С. 614.
4. Баженова Т. В., Гвоздева Л. Г. Нестационарные взаимодействия ударных волн.— М.: Наука, 1977.— С. 274.
5. Нестационарные взаимодействия ударных и детонационных волн в газах/Г. В. Баженова, Л. Г. Гвоздева, Ю. П. Лагутов и др.— М.: Наука, 1986.— С. 206.
6. Альбом течений жидкости и газа: Пер. с англ./Сост. М. Ван-Дайк.— М.: Мир, 1986.— С. 184.
7. Физика взрыва/Под ред. К. П. Станюковича.— М.: Наука, 1975.— С. 704.
8. Васильев С. М., Кирко В. И. Исследование процесса формирования газодинамического течения в условиях остроугольной геометрии сталкивающихся пластин // ФГВ.— 1986.— 22, № 1.— С. 88—92.
9. Дерибас А. А., Захаренко И. Д. О поверхностных эффектах при косых соударениях металлических пластин // Там же.— 1974.— 10, № 3.— С. 409—421.

гг. Варшава, Новосибирск

Поступила в редакцию 15/III 1990,
после доработки — 22/VIII 1990

УДК 532.593 + 539.389.2

Н. А. Костюков, Т. М. Соболенко

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОЙ ПРОСЛОЙКИ НА УПРОЧНЕНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ КОНТАКТНЫМ ВЗРЫВОМ

Исследовано влияние прослойки порошкового материала, размещенной между зарядом взрывчатого вещества (ВВ) и поверхностью малоуглеродистой стали, на величину упрочнения и микроструктурные изменения. Установлено, что применение прослоек приводит к большему увеличению твердости и изменению микроструктуры, чем при непосредственном контакте заряда с упрочняемой поверхностью. Эффект возрастает с увеличением акустического импеданса прослойки и детонационных характеристик ВВ.

Метод упрочнения металлов контактными зарядами ВВ [1, 2] — один из наиболее простых и удобных в плане практической реализации. Широкое распространение получили схемы нагружения бегущей волной, в которых заряд ВВ инициируется так, чтобы детонационная волна (ДВ) скользила вдоль поверхности упрочняемого металла. При этом в металле генерируется косая ударная волна (УВ) (или волна сжатия), обуславливающая микроструктурные изменения и в конечном итоге эффект упрочнения.

Часто между зарядом ВВ и упрочняемой поверхностью размещается слой какого-либо материала, предназначенный для защиты этой поверхности от воздействия продуктов взрыва. Такая прослойка является, по существу, передающей средой между зарядом и упрочняемым металлом. Поэтому физико-механические свойства прослойки и ее динамическая сжимаемость могут оказывать влияние на параметры УВ, генерируемой в металле, и, как следствие, на степень упрочнения и его глубину.