

Необходимо отметить, что в предлагаемой модели не известна и не выписана зависимость размера блока от параметров среды и динамики развития взрыва. Этот вопрос требует особого исследования.

Автор выражает благодарность В. К. Сироткину за полезные обсуждения.

Поступила в редакцию 19/1 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Чедвик, А. Коке, Г. Гопкинс. Механика глубинных подземных взрывов. М.: Мир, 1966.
2. В. Н. Родионов и др. Механический эффект подземного взрыва. М.: Недра, 1971.
3. В. Н. Николаевский и др. Механика насыщенных пористых сред. М.: Недра, 1970.
4. A. W. Bishop. Soils and soft rocks as engineering Materials, 1966, 6, 289.
5. J. Geertsma. Trans. ASME, 1957, 219, 3.
6. В. Н. Николаевский. Докл. АН СССР, 1967, 177, 3.
7. M. A. Biot. J. Appl. Phys., 1941, 12, 2.
8. Г. И. Баренблатт, В. М. Ентов, В. М. Рыжик. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра, 1972.
9. С. З. Дунин, В. К. Сироткин. ПМТФ, 1977, 4.
10. М. И. Койфман, Е. И. Ильницкая.— В сб.: Исследование механических свойств и взрывного способа разрушения горных пород. М.: Наука, 1970.
11. С. Е. Чирков, А. Н. Мельников.— В сб.: Исследование механических свойств взрывного способа разрушения горных пород.— М.: Недра, 1970.
12. Г. М. Ляхов. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. М.: Недра, 1974.

УДК 621.7.044.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СВАРКИ ВЗРЫВОМ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. М. Ханов, И. В. Яковлев

(Новосибирск)

Выбор метода создания композиционных материалов зависит в первую очередь от физико-механических характеристик соединяемых компонентов и возможности образования связи между ними, что и определяет условия и режимы соединения. Сварка металлов взрывом позволяет соединять практически любые металлы и сплавы, существенно отличающиеся по своим физическим и механическим свойствам. Таким образом, в большинстве случаев задача сводится к определению параметров процесса сварки взрывом, обеспечивающих связь на границе раздела.

Имеется значительное число работ, в которых рассматривается выбор режимов сварки плоских пластин в зависимости от свойств свариваемых металлов и характеристик используемых взрывчатых веществ. При этом приводятся результаты экспериментальной проверки соответствия теоретических расчетов параметров метания и соударения при сварке металлов взрывом.

Отличительной особенностью создания сваркой взрывом волокнистых композиционных материалов (по сравнению с листовыми композициями) является наличие в зоне соударения волокон, имеющих размеры, соизмеримые с толщиной матричных пластин. Это создает ряд специфических трудностей при расчете начальных параметров соударения по известным методикам расчета при соударении двух или более плоских пластин. Эти трудности объясняются более сложным характером взаимодействия элементов волокнистого композиционного материала в условиях высокоскоростного соударения.

В настоящее время исследован механизм и условия образования соединения волокнистых композиционных материалов сваркой взрывом, когда ориентация волокон совпадает с направлением распространения фронта детонации в зарядах взрывчатого вещества [1—3], и по схеме с ортогональным распространением фронта детонации по отношению к направлению укладки армирующих волокон [4]. В работах [3, 4] показано, что стандартный подход к изменению параметров соударения при сварке плоских листовых материалов не может быть однозначно перенесен на волокнистые композиционные материалы ввиду сложности картины взаимодействия матричных пластин и волокон.

Один из определяющих параметров процесса сварки взрывом — угол соударения свариваемых пластин γ_1 , в общем случае равный сумме начального угла установки α и угла поворота метаемой пластины под фронтом детонации β . Угол поворота пластины зависит от величины r (r — безразмерный параметр, характеризующий отношение массы взрывчатого вещества к массе метаемой пластины) и от показателя политропы продуктов взрыва k [5].

Экспериментальное определение угла β с помощью оптических методов, как правило, дает значительные погрешности. Исследование процесса метания с использованием проволочных датчиков сопротивления [6] и электроконтактного метода [7] позволило в значительно большем диапазоне изменять толщину зарядов ВВ и более точно фиксировать фазу разгона метаемой пластины. Из работы [6] следует, что разгон пластины, метаемой зарядом ВВ толщиной δ_0 , происходит на расстоянии порядка $2\delta_0$ от фронта детонации, т. е. угол поворота непрерывно увеличивается до максимального для данной величины r на зазоре между соударяющимися пластинами $h \sim (0,2 \div 0,5)\delta_0$. С учетом этих условий в [8] показано, что если величина зазора между свариваемыми пластинами $h < (0,2 \div 0,5)\delta_0$, то их соударение происходит под углом, меньшим максимального расчетного угла. Естественно считать, что если свариваемые пластины установлены на расстоянии, меньшем участка разгона, то после соударения на них еще некоторое время продолжает действовать давление продуктов детонации. Все это вместе взятое приводит к изменению режима соударения и параметров образующихся в зоне соединения волн, что в значительной степени проявляется при создании сваркой взрывом волокнистых композиционных материалов.

Известна экспериментальная работа, в которой угол поворота матричных пластин в межволоконном пространстве модельной композиции стальные волокна (диаметром 3—10 мм) — сплав АМГ6 определяется с помощью съемки процесса на скоростной фоторегистрирующей установке. При этом скорости соударения составляли 15—25 м/с, т. е. на порядок ниже скоростей, реализующихся в реальных условиях при сварке композиционных материалов.

В настоящей работе использована электроконтактная методика измерения параметров соударения [9, 10] для экспериментального определения угла соударения матричной пластины в межволоконном пространстве при оптимальном объемном содержании волокон. Оптимальное объемное содержание армирующих волокон, обеспечивающее прочную связь матричных слоев в межволоконном пространстве, согласно [3], составляет 25%. Этому значению при равных величинах толщины матричных пластин и диаметра волокна соответствует шаг укладки волокон $t = (1,5 \div 2)d$, где d — диаметр волокна. Параметры соударения измерялись на модельных композициях медная матрица — стальные волокна, алюминиевая матрица — стальные волокна. Сварка взрывом образцов, на которых проводились измерения, велась по схеме с параллельным расположением матричных пластин. Во всех экспериментах толщина матричных пластин и диаметр волокна составляли 3 мм. Начальное расстояние между волокном и метаемой матричной пластиной равно диаметру волокна, начальный зазор между матричными пластинами соответствуе-

| Материал | t/d | τ_1 | τ_2 | τ_3 | τ_4 | v_{AC} | v_{AB} | γ_1 | v_{II} |
|--|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|
| Алюминиевая матрица — стальные волокна | 1,5 | 2,15 | 36,2 | 32 | 33 | 2,76 | 3,14 | 25,5 | 1,3 |
| | 2,0 | 2,7 | 36 | 32 | 33 | 2,8 | 3,16 | 21 | 1,0 |
| Медная матрица — стальные волокна | 1,5 | 4,1 | 28 | 26 | 25 | 3,58 | 3,9 | 11 | 0,75 |
| | 2,0 | 4,5 | 28 | 24 | 24 | 3,58 | 4,16 | 9,5 | 0,7 |

Примечание. $\tau_1 - \tau_4$ в мкс, v_{AC} , v_{AB} , v_{II} — в км/с.

расстоянию, необходимому для полного разгона метаемой пластины до соударения с неподвижной. Схема сборки для измерения параметров соударения представлена на рисунке, где 1 — волокно, 2 — метаемая матричная пластина, 3 — неподвижная матричная пластина, 4 — изолятор, 5 — контактный датчик.

Способ измерения параметров процесса основан на регистрации моментов времени τ_1 , τ_2 , τ_3 . Кроме этого, в каждом эксперименте регистрировался промежуток времени τ_4 , определяющий скорость детонации ВВ. Расстояние между контактами А и С, В и D, а также базовое расстояние при измерении скорости детонации равнялось 100 мм, положение контактов фиксировалось с точностью до 0,02 мм. В экспериментах исключалась возможность замыкания контактов по причинам, не связанным с процессом измерения параметров соударения. В качестве взрывчатого вещества использовался аммонит 6ЖВ, во всех экспериментах $r = 1$.

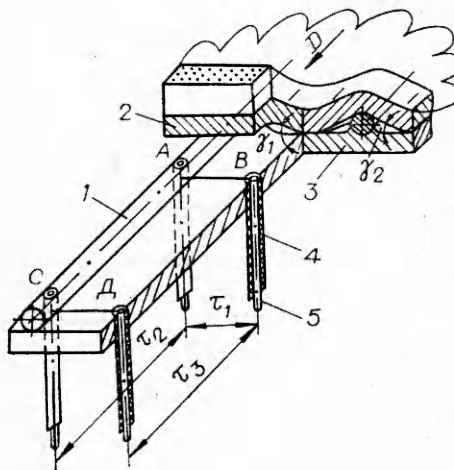
Угол соударения γ_1 , а также скорость полета матричной пластины в межволоконном пространстве v_{II} рассчитывались по известным координатам контактов А, В, С, D и по измеренным значениям τ_1 , τ_2 , τ_3 и v_K — скорости точки контакта из соотношений $\gamma_1 = \arctg(AB/v_K\tau_1)$, $v_{II} = v_K \sin \gamma_1$.

Характерные результаты приведены в таблице. Их анализ показывает, что значение величины углов соударения в межволоконном пространстве для исследованных волокнистых композиционных материалов при оптимальном шаге укладки волокон t отличается от значения углов, получаемых из зависимости, выведенной на основе рассмотрения двумерной схемы метания пластин скользящей детонационной волной [5]. Согласно [5],

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}} \frac{h}{2r + 2,71 + 0,184\delta/h} \quad (1)$$

Расчет по выражению (1) при $k = 2,5$, $r = 1$, $\delta = 1/2h$ дает во всех случаях $\gamma_1 = 12,6^\circ$. Это различие в величинах γ_1 может быть объяснено наличием специфических особенностей во взаимодействии элементов волокнистого композиционного материала при высокоскоростном соударении и необходимостью учета иных характеристик, влияющих на поворот метаемой пластины под фронтом детонации, кроме массы, как это следует из (1).

В работе [3] при исследовании механизма образования соединения волокнистого композиционного материала сделана попытка учесть некоторые физико-механические характеристики материалов для объяснения взаимодействия элементов материала и макроструктуры образующейся границы соединения.



В данной работе для объяснения получаемых экспериментальных результатов использованы выводы, сделанные в работе [3] по учету влияния перемещения волокон относительно матричных слоев в процессе соударения. Результаты, представленные в таблице, удовлетворительно согласуются с расчетами, выполненными при использовании полученной в [3] зависимости

$$\frac{1 - \sin^2 \gamma_1}{\sin \gamma_1} = \frac{2v_K}{v_{II}} \cdot \frac{m_M + m_B}{m_M} \cdot \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{d + \Delta l_1}, \quad (2)$$

где m_M , m_B — массы матрицы и волокна; Δl_1 — перемещение волокна в результате упругой деформации матрицы; Δl_2 — перемещение волокна в результате пластической деформации матрицы.

Значение величин Δl_1 и Δl_2 для исследованных материалов определены по микрошлифам границы соединения и соответственно равны: для меди 0,45 и 0,5; для алюминия 0 и 0,3. Расчет углов соударения по формуле (2) дает следующие результаты: для материала с алюминиевой матрицей $\gamma_1 = 28,3$ и $24,8^\circ$ при $t = 1,5d$ и $2d$ соответственно, для материала с медной матрицей $\gamma_1 = 10,5$ и $8,9^\circ$ при тех же значениях t .

Скорость полета метаемой матричной пластины в межволоконном пространстве можно определить с учетом действительного угла соударения из соотношения

$$v_{II} = v_{II}' \frac{\sin \gamma_1}{\sin \gamma_1'}, \quad (3)$$

полученного из условия равенства скорости точки контакта в случае соударения метаемой пластины с волокном и для соударения матричных пластин. В этом соотношении v_{II}' и γ_1' — скорость полета и угол соударения матричных пластин при отсутствии волокон. Расчет по выражению (3) для материала с алюминиевой матрицей дает значения $v_{II} = 1,46$ и $1,27$ км/с при $t = 1,5d$ и $2d$ соответственно, для материала с медной матрицей $v_{II} = 0,73$ и $0,62$ км/с при тех же значениях t . Сравнение с представленными результатами показывает достаточно хорошее соответствие экспериментальных и расчетных данных, что позволяет пользоваться расчетными выражениями для оценки реальных параметров соударения при сварке взрывом волокнистых композиционных материалов по схеме, когда направление укладки волокон совпадает с направлением распространения фронта детонации в заряде ВВ.

Поступила в редакцию 24/IV 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. P. M. Slate.— In: Proc. of the 1975 Intern. Conference of Composite Materials. Vol. 2. N.-Y., 1976.
2. В. А. Котов, В. С. Седых.— В сб.: Сварка взрывом и свойства соединений. Тр. ВПИ, вып. 2. Волгоград, 1975.
3. А. М. Ханов, И. В. Яковлев. ФГВ, 1979, 15, 6.
4. А. М. Ханов, И. В. Яковлев. ФГВ, 1980, 16, 2.
5. Г. Е. Кузьмин.— В сб.: Механика взрывных процессов. Вып. XXIX. Новосибирск, 1977.
6. Г. Е. Кузьмин, В. И. Мали, В. В. Пай. ФГВ, 1973, 9, 4.
7. G. Cowan, A. Balchan. Phys. Fluids, 1965, 8, 10.
8. Г. Е. Кузьмин, В. А. Симонов, И. В. Яковлев. ФГВ, 1975, 12, 3.
9. Ю. В. Гаек и др.— В сб.: Механика взрывных процессов. Вып. XXIX. Новосибирск, 1977.
10. В. В. Пай и др.— В сб.: Механика взрывных процессов. Вып. XXIX. Новосибирск, 1977.
11. Л. П. Орленко. Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках. М.: Машиностроение, 1964.