

**КИНЕТИКА СОУДАРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН
В МНОГОСЛОЙНОМ ПАКЕТЕ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ**

Обеспечение высокой прочности соединения металлических пластин в слоистом композиционном материале (СКМ) при сварке взрывом (СВ) по «одновременной» схеме требует строгой и точной дозировки энерговложений на всех межслойных его границах [1], что может быть достигнуто за счет создания при каждом акте соударения в пакете определенных условий, характеризующихся свойствами соединяемых металлов и кинематическими параметрами СВ, важнейшими из которых обычно считают скорости соударения слоев V_c . Однако задача расчетной оценки послыонных скоростей соударения в многослойном пакете, отвечающей реальной физической картине процесса, ввиду сложности и нестационарности явлений, протекающих при сварке, во многих своих аспектах остается к настоящему времени нерешенной.

В данной работе исследован истинный характер кинетики послыонного соударения металлических пластин в многослойном пакете при сварке его взрывом по наиболее часто применяемой в практике «одновременной» схеме.

Существующие модели соударения пластин при сварке взрывом многослойных композитов [2, 3] по целому ряду причин не отражают реальной феноменологии процесса и, следовательно, не позволяют достоверно оценить характер разгона произвольной i -й пластины, вовлекаемой во взаимодействие. В связи с этим была предложена новая кинематическая модель соударения (рис. 1), для пояснения которой рассмотрим единичный акт взаимодействия метаемой пластины с расположенной под ней свободно с некоторым зазором h_1 второй пластиной. Если считать, что скорость полета пакета из этих двух провзаимодействовавших пластин определяется скоростью движения тыльной поверхности второй пластины пакета (в конечном счете именно эта скорость и определяет условия соударения на последующей межслойной границе), а также учитывать, что эта поверхность в некотором рассматриваемом сечении вплоть до выхода на нее волны сжатия покоилась [4], то разгон пакета из двух пластин после их взаимодействия можно рассматривать начинающимся с нулевого значения скорости и заканчивающимся некоторой конечной величиной, зависящей от исходных условий. Таким образом, послыонное изменение скоростей полета, очевидно, является не ступенчатым [2], а скачкообразным, причем зависимость $V_c = f(h_2)$ представляется не ломаной кривой, а семейством самостоятельных кривых разгона (рис. 1).

С целью проверки адекватности предложенной кинематической модели была проведена серия опытов по СВ многослойных модельных композитов по усовершенствованной методике (рис. 2) с непрерывной регистрацией изменения кинематических параметров на выбранной межслойной границе с помощью реостатной [5] (с использованием цифрового осциллографа С9-8 и генератора тока, обозначенных на рис. 2 ОСЦ и ГТ) и электроконтактной [6] (с применением частотомера ЧЗ-34, обозначенного на рис. 2 ЧМ) методик. Исходные условия проведения опытов представлены в таблице.

Экспериментальные кривые изменения скорости полета пакета из алюминиевых пластин толщинами 2—10 мм, полученные при моделировании процесса соударения на второй межслойной границе для различных фаз разгона, показаны на рис. 3 и 4 (соответственно для толщин модельных пластин 2 и 10 мм) кривыми 2—5 (кривые 1 и 1' отражают процесс разгона

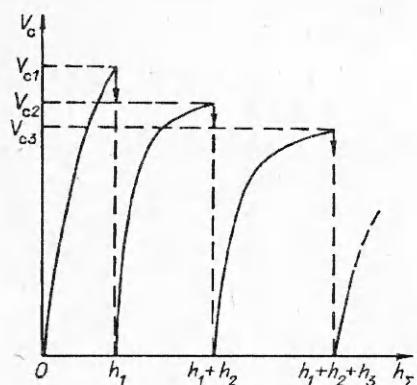


Рис. 1

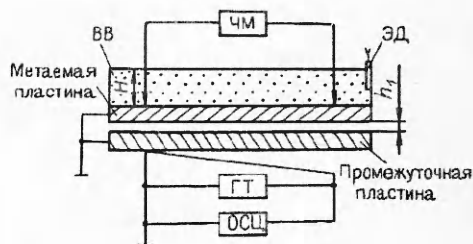


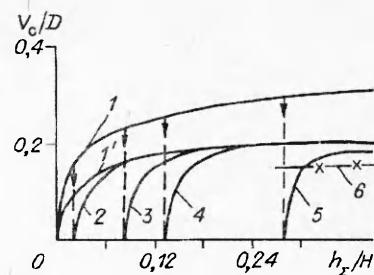
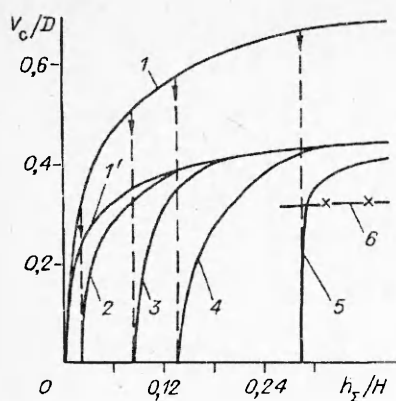
Рис. 2

алюминиевых пластин толщнами 2 и 4 мм для рис. 3 и 10 и 20 мм для рис. 4) и иллюстрируют правомерность предложенной кинематической модели. При этом установлено, что процесс разгона сваренного в полете пакета пластин после каждого соударения происходит, по крайней мере, в две стадии.

На первой стадии наблюдается интенсивный набор скорости взаимодействовавшего пакета за весьма малый промежуток времени (1—1,5 мкс) или, если рассматривать процесс разгона в более привычных координатах $V_c - h$ или $V_c/D - h/H$, при незначительном изменении расстояния от тыльной поверхности пакета (в зависимости от исходных условий СВ это расстояние находится в диапазоне 0,5—2 мм). На второй стадии разгона скорость полета растет менее интенсивно (кривые 2 — 4 рис. 3, 4), достигая при малых относительных зазорах на первой границе (отношение величины исходного расстояния между пластинами к высоте накладного заряда ВВ $h_1/H < 0,15$) через зависящий от h_1/H промежуток времени теоретических значений скоростей, изображенных на рис. 3, 4 кривыми 1' и рассчитанных из уравнений физики взрыва [7] для случая одномерного метания металлической пластины, масса которой равна сумме масс двух первых соударяющихся пластин.

При $h_1/H > 0,2$ на первой межслойной границе пакета разгон двух соударяющихся пластин на второй стадии происходит до значений V_c (кривые 5 рис. 3, 4), отличающихся от рассчитанных по [7] в меньшую сторону, но приблизительно на 20 % больших скоростей, изображенных на рис. 3, 4 кривыми 6 и вычисленных из закона сохранения количества движения, что, по-видимому, связано с энергетической «подпиткой» системы взаимодействовавших пластин остаточным давлением продуктов детонации ВВ даже

Номер серии опыта	Толщина метаемой пластины	Толщина промежуточной пластины	Технологические параметры сварки взрывом				
	мм		Тип ВВ	Высота заряда H , мм	Скорость детонации D , м/с	Зазор между пластинами h_1 , мм	Относительный зазор h_1/H
1	2	2	АТ-1	70	2580—2720	1,5	0,0214
2						6	0,086
3						10	0,143
4						20	0,286
5	10	10				1,5	0,0214
6						6	0,086
7						10	0,143
8						20	0,286



Р и с. 4

Р и с. 3

при достаточно больших исходных зазорах, хотя этого давления недостаточно для разгона пакета до теоретической скорости, вычисленной из предположения, что метается пластина единичной массы, равной сумме масс двух соударяющихся пластин в наших опытах.

Рассматривая с энергетической точки зрения процесс соударения двух пластин и их дальнейшее совместное движение, можно считать, что в зависимости от фазы разгона метаемого элемента происходит либо полная (в случае малых значений h_1/H на первой границе), либо частичная (в случае больших h_1/H) компенсация энергзатрат на пластическую деформацию и кумуляцию за счет энергии продуктов детонации ВВ.

Полученные впервые такого рода экспериментальные данные служат отправной точкой при создании достоверной математической модели кинетики послыстного соударения пластин в многослойном пакете при СВ на основе предлагаемой кинематической модели взаимодействия пластин и разработке соответствующих методик расчетного определения условий соударения на межслойных границах СКМ, являющихся предметом самостоятельной публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысак В.И., Корнеев В.Н. Влияние энергетических условий процесса сварки взрывом на структуру и свойства слоистых композиционных материалов // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. — Волгоград: ВолгПИ, 1985. — С. 40—55.
2. Беляев В.И. Высококоростная деформация металлов. — Минск: Наука и техника, 1976.
3. Zhang Kai, Xi Jinyi, Gao Junbo. Research on wave formation in multilayer explosive cladding // High-energy rate fabrication: Proc. X Intern. conf. HERF-89, Ljubljana, 1989. — S.l., s.a. — P. 612—621.
4. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. — М.: Наука, 1969.
5. Кузьмин Г.Е., Мали В.М., Пай В.В. О метании плоских пластин слоями конденсированных ВВ // ФГВ. — 1973. — № 4. — С. 558—562.
6. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. — Новосибирск: Наука, 1980.
7. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. Физика взрыва. — М.: Наука, 1975.

г. Волгоград

Поступила 22/X 1993 г.,
в окончательном варианте — 25/XI 1993 г.