

УДК 621.791.76:621.7.044.2

*Е.В. Попов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, Т.Ш. Сильченко***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЭНЕРГИИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ, ПРИ КОСОМ СОУДАРЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ***Волгоградский государственный технический университет*

Процессы, протекающие при сварке взрывом, в значительной мере характеризуются расходом кинетической энергии, которой обладает метаемая пластина. Учитывая роль энергетических параметров в формировании сварного соединения, уточнение баланса энергии, предложенного в работе [2], является актуальной задачей.

При высокоскоростном косом соударении тел кинетическая энергия метаемого элемента согласно [1,2] затрачивается на пластическую деформацию, кинетическую энергию сваренного пакета и кумуляцию. В аналитическом виде уравнение энергии метаемого элемента (уравнение баланса энергий соударяющихся тел) имеет вид:

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad (1)$$

где  $W = \frac{m_1 V_c^2}{2}$  – кинетическая энергия метаемого элемента,  $m_1$  – его масса;  $W_1$  – кинетическая энергия продолжающего движение пакета сваренных пластин, определяемая из соотношения

$$W_1 = \frac{m_1 + m_2}{2} V_n^2, \quad (2)$$

где  $(m_1 + m_2)$  – масса сваренного пакета,  $V_n$  – скорость пакета,  $m_2$  – масса неподвижной пластины;  $W_2$  – затраты энергии на пластическую деформацию металла ОШЗ;  $W_3$  – энергозатраты на кумуляцию, определяемые согласно [1,4]

$$W_3 = \frac{m_j V_j^2}{2}, \quad (3)$$

где  $V_j$  – скорость кумулятивной струи, лежащая в пределах 1,5-2 скорости детонации взрывчатого вещества  $D$  [4],  $m_j$  – масса кумулятивной струи.

Для расчета энергии кумулятивной струи зачастую прибегают к формуле, предложенной в работе [2]:

$$W_3 = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} V_c^2 \left( \frac{V_k}{C_0} \right)^2, \quad (4)$$

где  $V_k$  – скорость точки контакта,  $C_0$  – скорость звука в свариваемом материале. Результаты, рассчитанные с помощью данной зависимости, имеют хорошую сходимость с экспериментами в диапазоне скоростей точки контакта 2000-3500 м/с [4].

Энергия, затрачиваемая на пластическую деформацию, в общем случае может быть рассчитана из уравнения [2]

$$W_2 = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} V_c^2 \left( 1 - \left( \frac{V_k}{C_0} \right)^2 \right). \quad (5)$$

Здесь величина  $1 - \left( \frac{V_k}{C_0} \right)^2$  характеризует долю начальной энергии, перешедшей в результате удара в другие виды энергии (внутренняя энер-

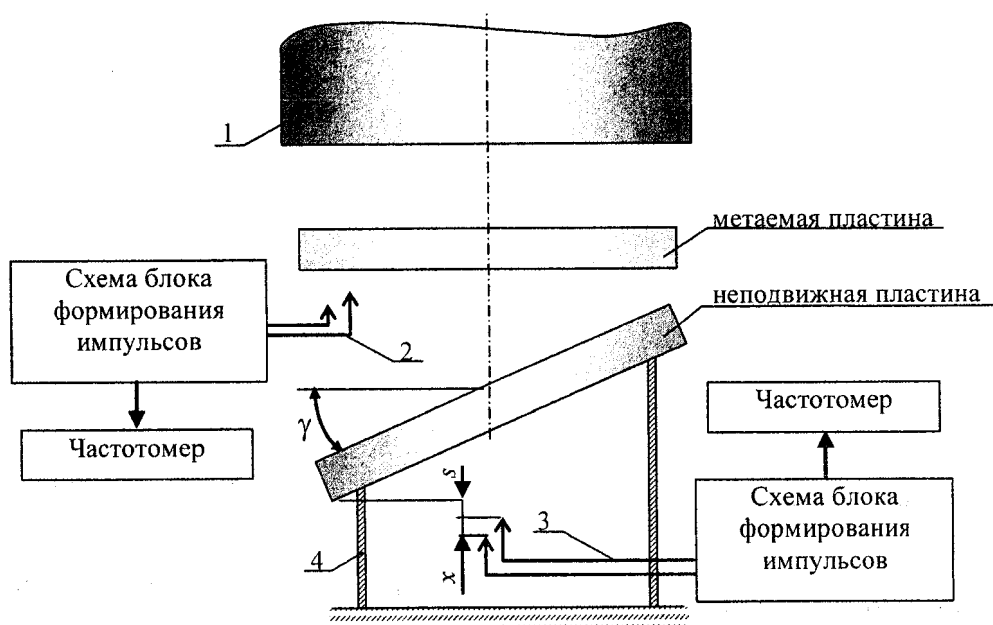


Рис. 1. Схема установки мишени при имитации сварки взрывом: 1 – ствол, 2 и 3 – датчики измерения скорости метаемого элемента и скорости сваренного пакета соответственно, 4 – защита от ионизированных газов.

гия), и по аналогии с [10] соотношение  $\frac{V_k}{C_0}$  является ни чем иным, как коэффициентом восстановления, который зависит от свойств материала соударяющихся тел, конфигурации и размеров свариваемых элементов. В формуле (5) однако коэффициент восстановления определяется лишь скоростью контакта  $V_k$  и скоростью звука  $C_0$ , упруго-пластические свойства материалов здесь не учитываются вовсе.

Целью работы явилось экспериментальное определение затрат энергии на пластическую деформацию посредством моделирования процессов высокоскоростного соударения тел, присущих сварке взрывом.

К наиболее простому и часто применяемому методу измерения энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию, относится калориметрирование [1], основным недостатком которого является рассеивание части энергии

сваренного пакета до помещения последнего в калориметр. Применяемая для оценки скорости сваренного в полете пакета реостатная методика [5] также не позволяет точно оценить количество энергии, остающейся в системе после соударения, в связи с тем, что на метаемую пластину после соударения с неподвижной действует остаточное давление продуктов взрыва. Более точное решение задачи возможно лишь в том случае, если систему соударившихся элементов сделать изолированной, исключив воздействие на нее давления разлетающихся ПД, величина которого зависит при сварке взрывом от фазы разгона метаемого элемента.

Задача моделирования процесса сварки взрывом решалась с помощью специальной экспериментальной установки, в которой метаемая пластины разгоняется энергией порохового заряда. Разработанная установка позволяет разогнать метаемый образец диаметром 58 мм и толщиной  $\delta_1$  до скоростей 200-900 м/с в зависи-

мости от массы заряда пороха. Регистрация кинематических параметров соударяющихся элементов производилась с помощью электроконтактной методики (рис. 1). Для измерения скоростей полета метаемой пластины и сваренного пакета датчики устанавливались перед неподвижной пластиной и за ней соответственно. После замыкания пластиной пары электроконтактных датчиков блок формирования импульсов вырабатывает сигналы прямоугольной формы, период между которыми фиксируется частотомером ЧЗ-63. В процессе соударения пластин реализуются условия аналогичные сварке взрывом, характеризующиеся совокупностью кинематических параметров: скоростью соударения  $V_c$ , зависящей от навески порохового заряда  $m_3$  и массы ударника  $m_1$ , углом соударения  $\gamma$  и скоростью точки контакта  $V_k = \frac{V_c}{\sin \gamma}$  (рис. 2).

Измеренные с помощью вышеописанной методики скорости полета метаемого элемента  $V_c$

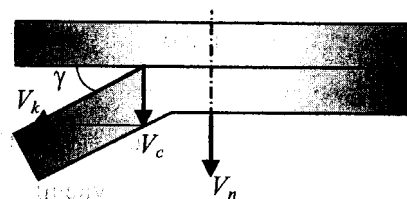


Рис. 2. Схема соударения ударника с мишенью при использовании метательной установки.

и сваренного пакета  $V_n$  подставлялись в уравнения (2,4-5) кинетических энергий ударника  $W$ , сваренного пакета  $W_1$  и кумулятивной струи  $W_3$ , а затем определялась искомая величина энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию  $W_2$ , выраженная из (1).

В результате проведенных серий опытов по сварке взрывом с помощью порохового заряда стальных элементов толщиной 4+2 мм установлено, что величина затрат энергии  $W_2$  имеет определенную сходимость с расчетными значе-

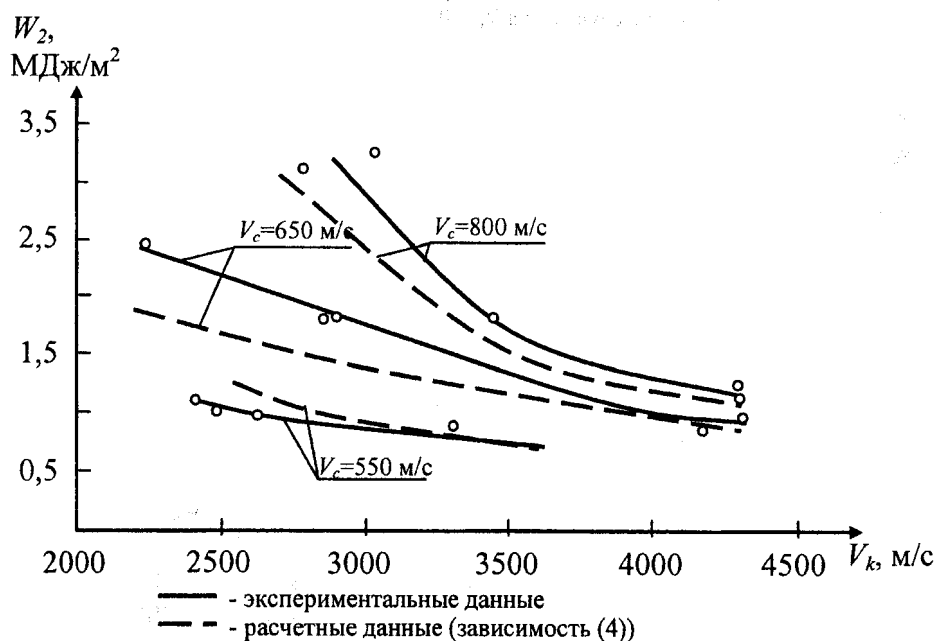


Рис. 3. Зависимость энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию, от скорости точки контакта (4 мм + 2 мм).

ниями (рис. 3, 4), а при толщинах заготовок 6+3 мм и 8+4 мм, экспериментальные кривые лежат ниже расчетных (рис. 4). Причем разница между экспериментальными и расчетными значениями с увеличением толщин или масс свариваемых материалов возрастает. Вероятно, это связано с тем, что с увеличением массы соударяющихся тел уменьшается отно-

сительный объем металла, вовлеченный в пластическую деформацию.

Согласно экспериментальным данным при сварке пластин толщиной 6+3 мм и 8+4 мм затраты энергии на образование сварного соединения от общей кинетической энергии метаэлемента по сравнению с расчетными величинами меньше в среднем на 8 % (рис. 5).

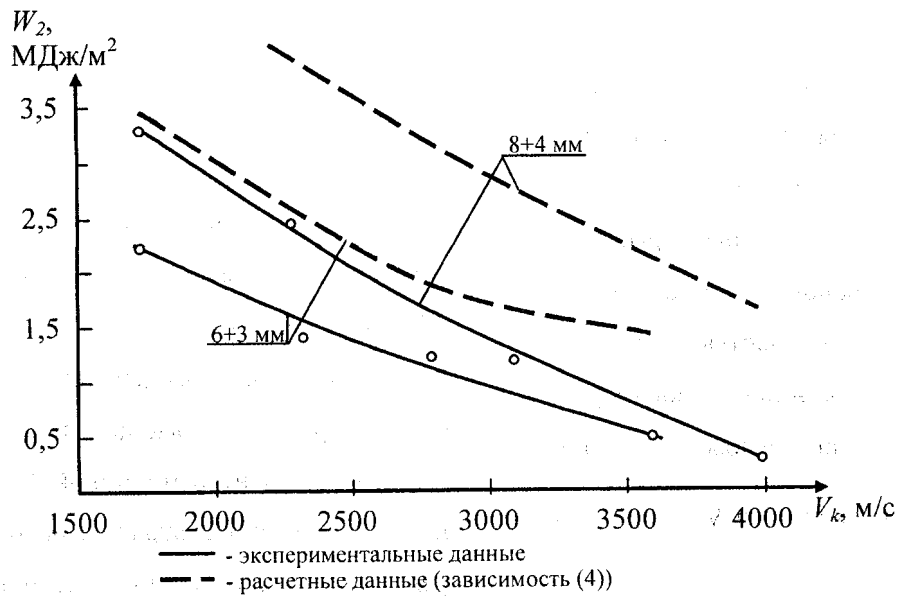


Рис. 4. Зависимость энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию, от скорости точки контакта (скорость соударения  $V_c=700$  м/с).

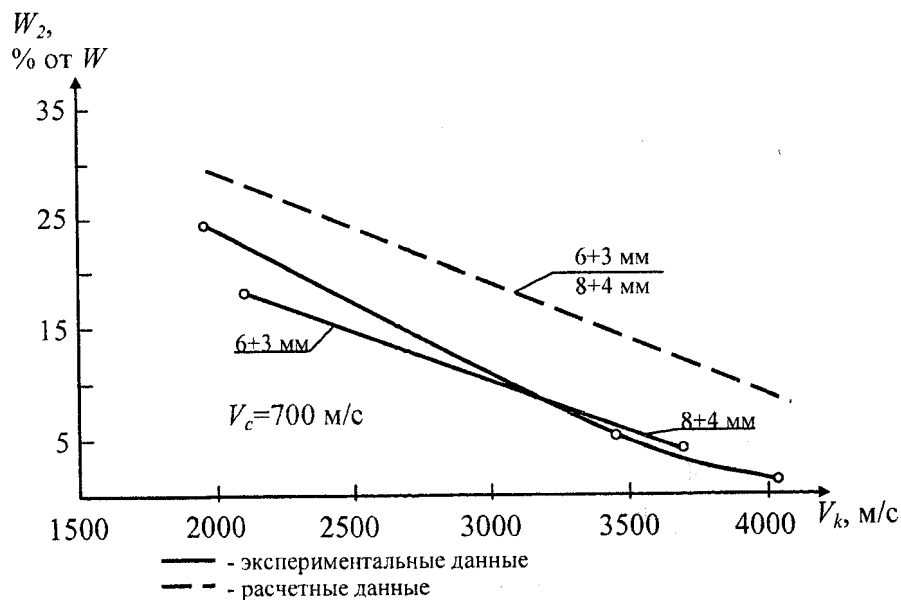


Рис. 5. Изменение доли энергии  $W_2$  в энергетическом балансе в зависимости от  $V_k$ .

Проведенные опыты показали, что на пластическую деформацию металла при высокоскоростном косом соударении с увеличением масс свариваемых элементов энергия, затрачиваемая на пластическую деформацию, уменьшается по сравнению с расчетными данными.

Таким образом, благодаря экспериментальным исследованиям установлено влияние упруго-пластических свойств свариваемых элементов на величину энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию. С увеличением пластичности материалов величина  $W_2$  уменьшается по сравнению с расчетными данными. Это обстоятельство должно учитываться коэффициентом восстановления в выражении (5).

#### Библиографический список

1. Лысак В.И., Кузьмин С.В. Основные схемы и параметры сварки взрывом слоистых композиционных материалов // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 1998. – С.3-28
2. Седых В.С., Соннов А.П. Расчет энергетического баланса процесса сварки взрывом // ФХОМ. – 1970. – №2. – С.6-13.
3. Липоватый Б.Н., Седых В.С., Соннов А.П. Энергетические условия, обеспечивающие схватывание металлов при сварке взрывом // Сварка взрывом и свойства сварных соединений / Межведом. сб. тр. / ВолгПИ. – Волгоград: Изд-во ВолгПИ, 1987. – С.28-35.
4. Методика оценки кумулятивных потерь при сварке взрывом / Лысак В.И., Берсенева П.В., Кузьмин С.В. и др. // Сварка взрывом и свойства сварных соединений / Межведом. сб. тр. / ВолгПИ. – Волгоград: Изд-во ВолгПИ, 1988. – С.25-40.
5. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222 с.
6. Высокоскоростные ударные явления / Под ред. В.Н. Николаевского. – М., 1973. – 535 с.
7. Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом. – Мн.: Навука і тэхніка, 1990. – 205 с.
8. Кудинов В.М., Коротеев А.Я. Сварка взрывом в металлургии. – М.: Металлургия, 1978. – 168 с.
9. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. Сварка взрывом / Под ред. В.М. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 216 с.
10. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладные теории и расчеты ударных систем. – М.: Наука, 1969. – 201 с.

УДК 621.791.76:621.7.044.2

### *Л. Б. Первухин\*, А. А. Бердыченко, Д. В. Олейников* ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОТЕКАНИЯ СВС – ПРОЦЕССА В ВИДЕ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА В СВАРОЧНОМ ЗАЗОРЕ НА ПРИМЕРЕ ТИТАНА

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН\*,  
Алтайский государственный технический университет

При сварке взрывом крупногабаритных заготовок из сталей длиной до 8 м и шириной до 3,2 м в структуре соединения размеры волн и усреднённая толщина расплавленного металла (УТР), которая, по сути, является показателем выделившейся в зоне образования сварного соединения энергии, сначала растут (рис.1, кривая 2), а на расстоянии примерно

500 мм от начала процесса стабилизируются. Иное положение наблюдается при сварке взрывом титана со сталью. На расстоянии примерно 700–900 мм отмечается резкое увеличение УТР вплоть до образования сплошной прослойки и разрушений плакирующего листа. При этом процесс сварки, как правило, прерывается [1,2].

Улучшение качества обработки свариваемых