

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС СТРУЕ- И ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

Э. О. Миндели, В. Г. Кабулашвили, Т. Г. Мардалеишвили,
Э. Ш. Чагелишвили

(Тбилиси)

В статье рассмотрены результаты исследования сварки взрывом чугуна со Ст. 3. Эксперименты проводились при высокой исходной температуре и ударном давлении. Сварка этой пары слабо изучена даже при нормальной температуре. Причина заключается в том, что чугун весьма хрупок и при нагружении ударными волнами разрушается.

Принципиальная схема сборки в условиях высокой начальной температуры представлена на рис. 1, где 1 — основная пластина из чугуна, 2 — слой асбеста (теплоизоляция и инертный материал), 3 — заряд, 4 — электродетонатор, 5 — метаемая пластина, 6 — основание, h — начальное расстояние между свариваемыми пластинками, α и γ — начальный и динамический углы. Стрелками указан подвод электроконтактов к чугунной пластинке.

В табл. 1 приведены характеристики ВВ, использованных в экспериментах. Скорость детонации плоских зарядов измерялась с помощью частотомера ЧЗ-34А. Начальное расстояние между соударяемыми элементами равнялось 7 мм. Для определения угла соударения и скорости точки контакта используется соотношение, приведенное в работе [1].

В работе применялась экспериментальная полуавтоматическая нагревательная установка. Образец из чугуна марки ЛК-5 в виде пластины размером $220 \times 80 \times 7$ мм помещался на предметном столе. Между чугунной пластинкой и предметным столом находился теплоэлектроизолирующий слой из картонного асбеста толщиной $3 \div 4$ мм. С помощью передвигающихся электроконтактов к чугунной пластине подводится ток величиной $(4 \div 5) \cdot 10^3$ А. Время нагрева не превышало 5 мин. На специальных подставках размещалась метаемая пластина размером $180 \times 80 \times 2$ мм.

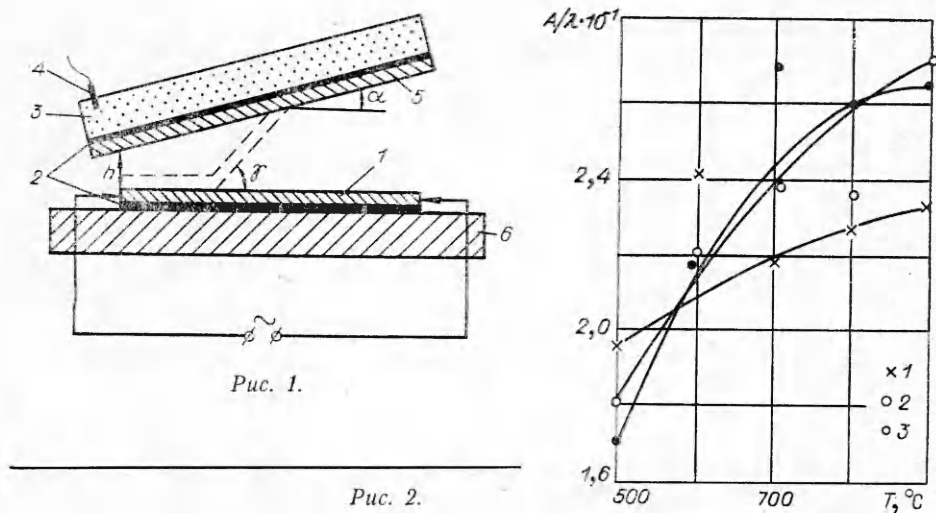
Эксперименты проводились в интервале температур $500 \text{—} 900^\circ\text{C}$. Интервал времени между моментами отклонения нагрева и взрыва не превышал 10 с. Чугунный образец во время нагревания не окислялся (не применялась защитная от окисления среда). Температура в образце (до момента прохождения по образцу ударной волны) измерялась хромель-алюмелевой термопарой. Погрешность измерения температуры не превышала 5%. Максимальная температура метаемой пластины (100°C) достигалась при температуре чугунной пластины 900°C , при этом она не влияла на детонационные свойства ВВ.

С помощью частотомера ЧЗ-34А электроконтактными датчиками в экспериментах измерялась также скорость кумулятивных потоков. База

Т а б л и ц а 1

ВВ	$\delta_{ВВ}$, мм	$\rho_{ВВ}$, г/см ³	$D_{ВВ}$, км/с	$p_{фр}$, кбар
Аммонит+селитра 50/50	20	0,95	2,1	11
Аммонит+селитра 75/25	20	0,95	2,7	18
Аммонит 6ЖВ	20	1,00	3,2	26

Примечание. $\delta_{ВВ}$ — толщина слоя ВВ.



измерения равнялась 5 мм. Датчики готовились из алюминиевой фольги толщиной 10 мкм. Для фиксирования следов кумулятивных потоков применялись стальные экраны. Расстояние до экранов от чугунной пластины составляло 12 мм.

Результаты экспериментов

Полученные сваренные образцы разрезались посередине, после чего исследовались микрошлифы средней части пластинок. Измерялась амплитуда и длина 40÷50 волн, а затем вычислялись соответствующие средние величины. На рис. 2 по оси абсцисс отложена исходная температура, а по оси ординат — отношения амплитуды к длине волны. Приведены результаты обработки экспериментов в режимах, когда применялись: аммонит 100% (см. рис. 2, 1), аммонит+селитра 75/25 (см. рис. 2, 2) и аммонит+селитра 50/50 (см. рис. 2, 3). Все данные соответствуют случаю $\alpha=0$.

Видно, что величина A/λ изменяется в сравнительно узком диапазоне. Сравнивая ход кривых, можно убедиться в том, что угол их наклона возрастает с уменьшением скорости точки контакта. Величина A/λ также прямо пропорциональна начальной температуре образца. С увеличением температуры отношение A/λ достигает максимальной величины. Если при сварке в нормальных условиях A/λ изменяется в диапазоне 0,14÷0,3 [1], то при высокой начальной температуре диапазон изменения A/λ составляет 0,17÷0,3.

Исследование форм волн позволяет констатировать некоторые любопытные факты. Как показывают эксперименты, границы соединения не симметричны. Из данных [2] известно, что эта несимметричность связывается с различиями в плотностях соударяющихся металлов. С разницей в плотностях связывают асимметрию вихревых зон, наблюдаемых обычно вблизи границы раздела. В работе [2] авторы высказывают соображения о том, что в более плотном из соударяющихся металлов размеры вихревых зон значительно выше. Плотности используемых в экспериментах материалов (чугуна и Ст. 3) практически не отличаются (7 и 7,8 г/см³). В настоящих экспериментах размеры вихревых зон значительно зависят от исходного состояния материала.

Вопрос о возможности струеобразования при плоских несимметричных соударениях обсуждался в работах [1, 3], где указывалось, что образование устойчивой кумулятивной пелены при несимметричных

соударениях маловероятно. Авторы утверждают, что даже в осесимметричном случае в опытах по обжатию металлических оболочек с малыми углами раствора вместо струи наблюдается облако дисперсных частиц. По мнению авторов, это положение еще более справедливо для плоских несимметричных соударений.

В настоящей работе поставлены специальные эксперименты для регистрации возможного струеобразования и пробивающего действия струи. Для этого на некотором расстоянии от соударяющихся пластин ставился стальной экран, на котором после опытов в зависимости от режима соударения и начальной температуры оставались следы отдельных частиц или две сплошные параллельные струи. Это, видимо, можно объяснить состоянием материала в момент соударения. На рис. 3, 4 приведены фотографии следов на стальном экране (в первом случае $T=900^\circ$, $D=3$ км/с, во втором $T=500^\circ\text{C}$, $D=2,1$ км/с).

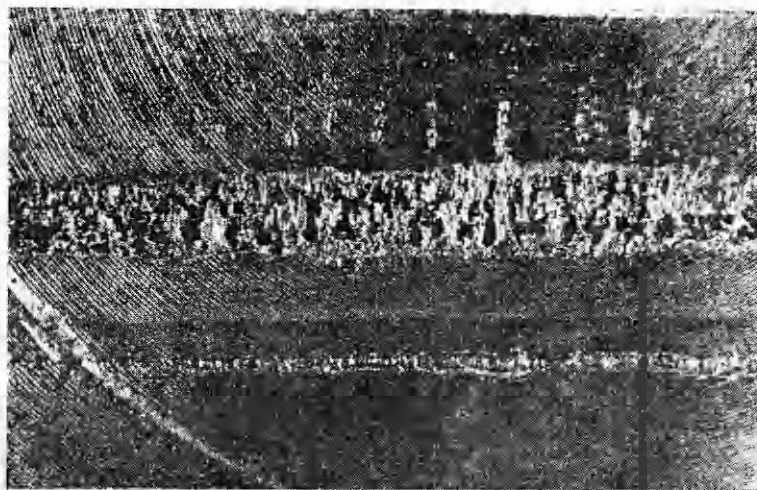


Рис. 3.

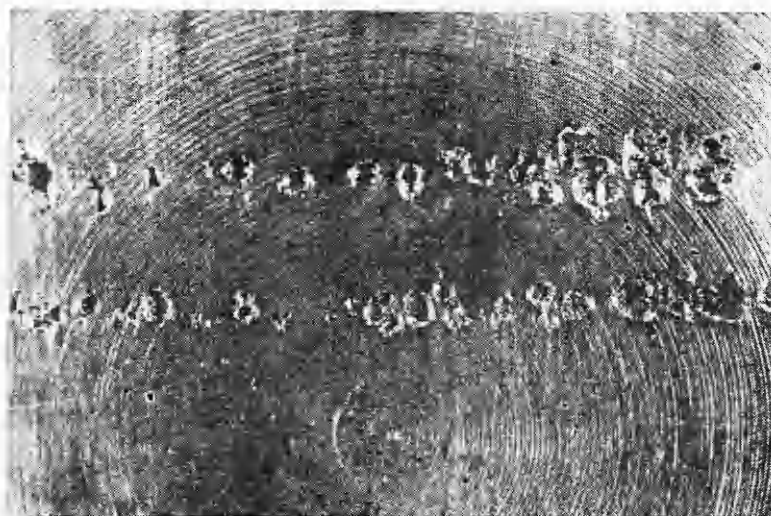


Рис. 4.

Появление второго следа на стальном экране, по всей видимости, впервые обнаружено в настоящих экспериментах, причем на экране зарегистрированы следы как сплошного кумулятивного потока, так и облако дисперсных частиц. Появление в нижней части экрана второго следа не требует объяснения — это результат кумулятивного потока, который образуется между поверхностями соударяющихся пластин.

Сделано предположение, что верхний след на экране оставляет кумулятивный поток, который движется между поверхностями слоя ВВ и метаемой пластиной. С целью проверки этого положения конец метаемой пластины загибался на 90° , высота выступа при этом не превышала 8 мм. При проведении экспериментов по этой схеме первый след на экране исчез.

Таким образом, показано, что кумулятивный поток образуется также между поверхностями ВВ и метаемой пластиной. Его интенсивность зависит как от скорости детонации ВВ, так и от температуры метаемой пластины (ее температура в проведенных экспериментах не превышала 100°C). При этом на верхней поверхности пластины не обнаружены следы волнообразования. Этот факт следует отметить, потому что в современной теории сварки взрывом, которая основывается на гидродинамической теории кумуляции, волнообразование на соударяемых поверхностях связывается со струеобразованием. С помощью частотометра ЧЗ-34А была измерена скорость распространения кумулятивного потока. Некоторые данные приведены в табл. 2. Результаты измерения показывают нестационарность скорости кумулятивного потока. Описанные эксперименты показывают, что при косых соударениях происходит самоочищение поверхностей за счет образования в окрестности точки контакта облака дисперсных частиц и сплошного кумулятивного потока соединяемых металлов, вылетающих из зоны соударения. При сварке в нормальных условиях сплошной кумулятивный поток не образуется.

Размеры вихревых зон зависят от параметров соударения и начальной температуры. Когда они становятся большими, их структура начинает влиять на прочность соединения. На рис. 5—7 показано волнообразование различной формы. Эти соединения получены при $T_0=500^\circ\text{C}$ и при скорости точки контакта $v_k=2,1, 2,7$ и $3,2$ км/с соответственно. Четко видно изменение геометрических форм параметров волнообразования.

В табл. 2 приведены результаты измерения микротвердости в околошовной зоне и в шве. Исходная микротвердость чугуна и стали равняется $250\text{—}270$ и $120\text{—}140$ кг/см² соответственно. Во всех температурных режимах отмечается незначительное изменение микротвердости в зоне соединения. Здесь же приводится оценка качества сварки этой пары. Качественная сварка обозначается знаком плюс.

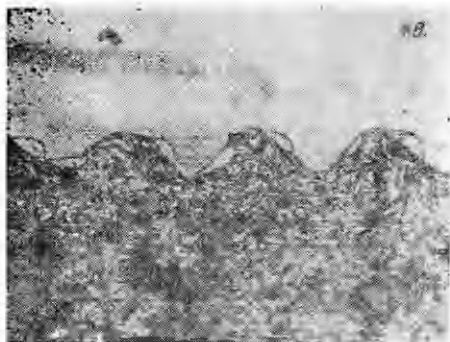


Рис. 5.

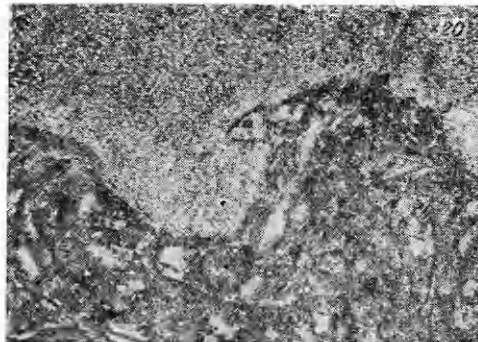


Рис. 6.

Таблица 2

ВВ	$\rho_{ВВ}$, г/см ³	D, мм/с	γ	β	T, °C	Качество сварки	Интерме- таллид	H _V , кг мм ²			Струеобразование, мм		u, мм/с							
								Чугун	Ст. 3	Интерме- таллид	Ст. 3+ВВ	Ст. 3+чугун								
Аммонит+ам. селитра 50/50	0,50	2,1	15°	15°	500	+	+	950	190	450	1,1	0	2,1							
														600	+	200	190	400	Поток	Частицы
														700	+	290	190	—	2,0	0
														800	+	250	190	—	Поток	Частицы
														900	—	—	—	—	Поток	Частицы
Аммонит+ам. селитра 75/25	0,95	2,7	15°20'	15°20'	500	+	+	330	200	450	Поток	Частицы	2,7							
														600	+	240	210	460	—	—
														700	+	260	160	—	Поток	Частицы
														800	+	250	190	—	2,3	1,25
														900	—	300	—	—	1,6	0,8
АММОНИТ	1,0	3,2	10°20'	16°20'	500	—	+	240	210	370	1,0	0,4	2,2							
														600	+	220	230	—	1,5	1,5
														700	+	250	210	—	2,0	—
														800	+	230	210	—	1,5	—
														900	—	290	—	—	4,0	2,4

Примечание. $\alpha=0$.

Во всех режимах соударения (по-видимому, впервые при 500—600°C) получены интерметаллиды с максимальной микротвердостью 450 кг/см², отличающиеся по механическим свойствам от стали и чугуна,— они не травятся в азотной кислоте. Максимальное количество интерметаллидов обнаружено на границе раздела сталь—чугун. В интервале температур 700—800°C интерметаллиды не образуются, а при 900°C и выше ни в одном режиме соударения качественной сварки не наблюдается. В последних режимах также наблюдается интенсивное струе- и волнообразование, причем струеобразование более интенсивно, чем в других режимах. В табл. 2 показаны также результаты измерения следов на стальном экране. Видно, что при температуре 700—800°C микротвердость в шве значительно отличается от твердости свариваемых материалов. Полученные соединения должны быть более качественны, чем при других температурных режимах.

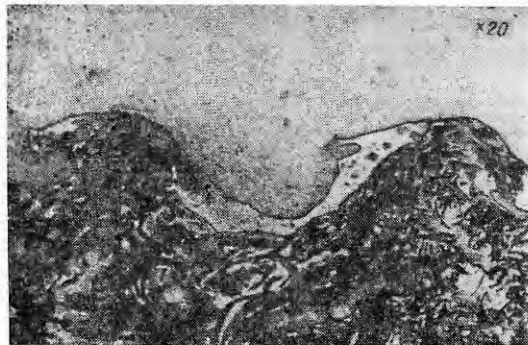


Рис. 7.

Таким образом, установлено, что между слоем ВВ и поверхностью метаемой пластины образуется кумулятивный поток, интенсивность которого зависит от температурного режима и скорости детонации ВВ, причем скорость потока неравномерна. Установлено также, что между пластинами в зависимости от температурного режима и параметров соударения образуется облако дисперсных частиц или сплошной кумулятивный поток. Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности метода сварки взрывом при высоких исходных температурах для хрупких материалов, а также о необходимости проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Поступила в редакцию
27/IV 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. А. Bahrani, T. Black, B. Crossland. Proc. Roy. Soc., Ser. A, 1967, 296, 1.
3. Ю. А. Гордополов. Канд. дис., М., ИХФ АН СССР, 1977.