

3. А. В. Введенская. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М., «Наука», 1969.
4. А. И. Соколик, А. И. Станиславский, А. С. Зверев. Шестиканальный электронный осциллограф ОК-27М. ЦИТЭИН, тема № 35, № II—59—117/9, 1959.
5. А. Н. Ромашов. В сб. «Взрывное дело», № 64/21. М., «Недра», 1968.

УДК 532.593+539.26+539.51

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ВЗРЫВОМ БРОНЗ, СОДЕРЖАЩИХ СВИНЕЦ, СО СТАЛЬЮ

Ю. А. Конон, Т. М. Соболенко

(Новосибирск)

В работе [1] показано, что все медные сплавы, кроме содержащих свинец, имеют достаточно широкий диапазон параметров сварки взрывом с конструкционными сталями. В работе [2], где опубликован наиболее полный перечень металлов и сплавов, свариваемых с помощью взрыва, отсутствуют данные по свариваемости пары: оловянно-цинково-свинцовистая бронза — сталь. Первые попытки получить удовлетворительное соединение пары сталь+бр. ОЦС4-4-2,5 по обычным режимам и схемам, применяемым для большинства пар металлов и сплавов, не дали положительных результатов. При этом на поверхности стали с хорошо развитыми волнами наблюдался слой бронзы. Это указывает на образование соединения в процессе сварки, которое впоследствии было разрушено. По-видимому, одной из причин разрушения только что образовавшегося, но окончательно не сформировавшегося соединения являются силы, возникшие при разгрузке образца.

Для уменьшения влияния этих сил целесообразно увеличить время действия давления продуктов детонации в процессе сварки. Известно, что время действия давления, зависит главным образом от высоты заряда ВВ, определяемой безразмерным параметром r [3]. Проведенные опыты с изменением r при оптимальных других технологических параметрах сварки показали, что с его увеличением прочность соединения растет, однако во всем изученном диапазоне равнопрочного соединения получить не удалось (рис. 1). Термическая обработка дала увеличение прочности соединения в 3—1,5 раза, однако, и в этом случае равнопрочного соединения не было получено.

Для выяснения причин этого явления была проведена сварка взрывом стали с бронзой ОЦ4-3, химический состав которой аналогичен изучаемой бронзе, но без включений свинца. В первых же опытах было получено равнопрочное соединение, в то время как даже незначительное наличие свинца (около 1%), в бронзе ОЦС4-4-1, отрицательно влияло на ее свариваемость со сталью. Были сварены взрывом образцы оловянно-цинково-свинцовистой бронзы друг с другом, а также с медью. Во всех случаях непосредственно после сварки взрывом прочности соединения слоев на отрыв более 10 кг/мм² получить не удалось (см. табл. 1).

Попытки получить непосредственное соединение свинца со сталью сваркой взры-

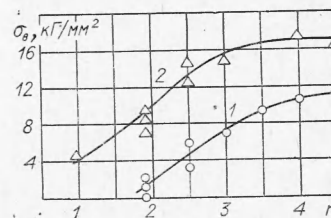


Рис. 1. Зависимость прочности соединения на отрыв пары сталь+Бр. ОЦС-4-4-2,5 от r после сварки взрывом (1) и термообработки 620°С (3 часа) (2).

Таблица 1

Основание	Облицовка	Прочность соединения на отрыв, кг/мм ²		Прочность наиболее слабого металла пары
		до термообработки	после термообработки	
Бр. ОЦС4-4-2,5	Бр. ОЦС4-4-2,5	1—3	4—7	30—32
»	Медь М1	2—9	20—22	20—22
Ст. 08КП	Бр. ОЦС4-4-2,5	2—10	6—17	30—32
»	Бр. ОЦС4-4-1	5—10	6—18	31
»	Бр. ОЦ4-3	40—46	30—34	30—33
»	Бр. ОФ6,5-0,15	35—60	36—42	30—33

вом не дали положительных результатов, хотя с другими металлами, например, медью, алюминием такие соединения получены в работах [4, 5]. Это еще раз подтвердило сделанное предположение об отрицательном влиянии включений свинца на прочность соединения сталь+Бр. ОЦС-4-4-2,5 при сварке взрывом.

Характер поведения включений свинца в медной матрице и на границе соединения изучался с помощью оптической металлографии, метода микротвердости, рентгеноструктурного, микрорентгеноспектрального и спектрального анализов. При этом было установлено, что свинец, который находится в исходной бронзе в виде более или менее равномерно расположенных включений округлой формы (глобулы диаметром от 5 до 15 мкм), после сварки взрывом в зоне пластического течения металла приобретает форму «чешуек» (рис. 2). Замеры протяженности «чешуек» свинца в этой зоне показали, что они занимают 30—40% по длине линии соединения. Следовательно, 30—40% соединения может иметь прочность, равную прочности свинца ($\sigma_b = 1 \text{ кг/мм}^2$). Острые концы «чешуек», возможно, служат концентраторами напряжений. Изучение характера разрушения зоны соединения при испытаниях на отрыв показало, что разрушение происходит как по линии соединения, так и вблизи нее по бронзе.

После проведения термообработки включения свинца в зоне пластического течения коагулировали в глобулы, аналогичные исходным, что хорошо видно с помощью оптического микроскопа (рис. 3). Это

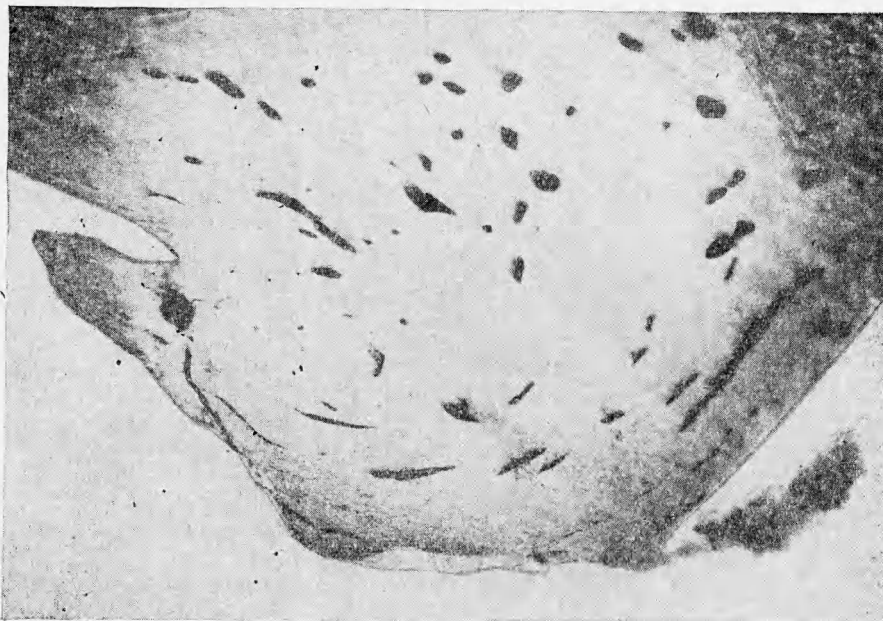


Рис. 2. Микроструктура соединения сталь+Бр. ОЦС-4-4-2,5 после сварки взрывом (шлиф не травлен), $\times 250$.

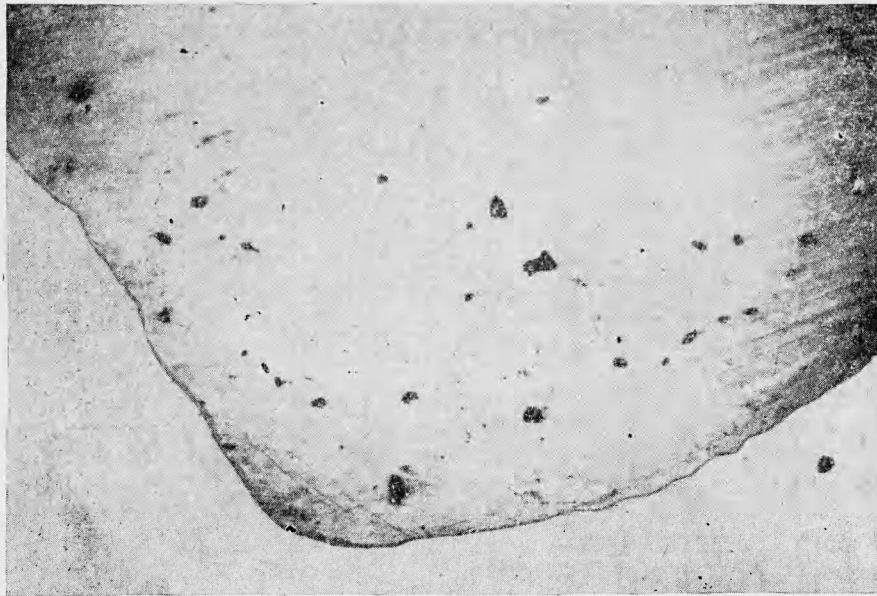


Рис. 3. Микроструктура соединения сталь Бр. ОПС-4-4-2,5, термообработка при 620° С (3 часа), $\times 250$.

привело к росту прочности соединения (см. рис. 1). Распределение свинца на самой линии соединения не исследовано из-за методических трудностей, однако рентгеновские съемки с поверхности разрыва термообработанных образцов показали уменьшение количества свинца в зоне разрушения.

Микрорентгеноспектральным анализом, проведенным на приборе УХА-3А по методике [7], установлено, что непосредственно на линии соединения сталь — бронза свинец после сварки взрывом также располагается в виде «чешуек». В результате термообработки при 620° С свинец в зоне пластического течения, как было отмечено выше, коагулирует.

На поверхности раздела сталь — бронза свинец также коагулирует, но из каждой «чешуйки» образуется несколько маленьких глобул округлой формы, близко расположенных друг к другу. При этом внутри медной матрицы проходят процессы рекристаллизации и «залечивания» пространства, занимаемого «чешуйками» свинца до термообработки. Размеры вновь образованных свинцовых глобул аналогичны исходным. При этой же термообработке залечивание пространства, занимаемого «чешуйками» свинца на границе раздела сталь — бронза, не успевает произойти, вследствие слабой активности процессов диффузии $Fe \rightleftharpoons Cu$ при данной температуре. На участках поверхности раздела сталь — бронза, прилегающих к свинцу, выявлено некоторое увеличение Zn. Таким образом, можно сделать вывод, что исследованный режим термообработки не может привести к получению равнопрочного соединения исследуемой пары.

Измерениями микротвердости и рентгеноструктурным анализом показано, что увеличение высоты заряда не оказывает заметного влияния на упрочнение стали; в бронзе с ростом r общее упрочнение сначала растет, а затем падает, вероятно, за счет тепловых процессов в зоне сильного пластического течения, которые в приграничной области стали ведут к рекристаллизации. С ростом r зона рекристаллизации увеличивается.

Таблица 2

r	Температура термообработки, °С	Содержание свинца на поверхности соединения, %	Прочность соединения, кг/мм ²	
			расчетная	реальная
1,5	—	72	8,5	Соединение разрушилось при механической обработке
2,5	—	63	11,0	
4,0	—	10	27,0	3—6
2,5	480	58	12,5	10—11
2,5	620	21	23,5	9—10
2,5	780	19	24,0	13—15
2,5	920	12	26,5	13—15
				20—22

При проведении тщательного микрорентгено-спектрального анализа на наличие свинца по поверхности соединения образцов сталь — бронза, сваренных при $r=1,5$; 2,5 и 4, установлено, что рост r приводит к уменьшению количества свинца на поверхности раздела непосредственно после сварки взрывом (табл. 2).

Проведенные исследования позволяют пред-

положить следующий механизм поведения свинца в процессе сварки взрывом: с ростом r на контактной границе увеличивается тепловыделение, что приводит, с одной стороны, к частичной коагуляции свинца на границе раздела и в приграничных зонах рекристаллизации, а с другой — к переводу некоторого количества свинца в паробразную фазу, что увеличивает возможность его выноса из зоны соединения.

Поступила в редакцию
19/VIII 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерibas. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. Е. Н. Росалукo, С. Р. Williams. Welding J., 1964, 43.
3. Дж. С. Райнхарт, Дж. Пирсон. Взрывная обработка металлов. М., «Мир», 1966.
4. А. М. Ставер, А. Н. Киселев и др. Сварка разнородных цветных металлов с черными металлами и сплавами. Докл. III Всес. совещ. 3—5 апреля 1967 г. Киев, Ин-т электросварки им. Потона, 1968.
5. И. В. Яковлев. Сварка взрывом свинца с некоторыми металлами и сплавами. ФГВ, 1972, 8, 4.
6. Г. И. Бердичевский, Т. М. Соболенко, Т. С. Тесленко. В сб. «Аппаратура и методы рентгеновского анализа». Вып. 5. Л., СКБРА, 1969, с. 226—232.

УДК 662.215.25+534.222.2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ОТ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ В СРЕДУ ПРИ КАМУФЛЕТНОМ ВЗРЫВЕ

В. И. Куликов, А. Н. Ромашов, В. М. Чубаров

(Москва)

При камуфлетном взрыве в окружающей среде в результате детонации заряда возникает движение, распространяющееся в виде волны сжатия. Движение среды происходит не только во время передачи энергии от продуктов детонации в среду, но, очевидно, может сохраняться и некоторое время спустя в виде инерционного движения. Именно этим инерционным движением, по-видимому, можно объяснить возвратное движение стенок камуфлетной полости, которое наблюдается