

*Е. В. Кузьмин, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак, Е. А. Крикушева, С. Ф. Кузнецов*  
Волгоградский государственный технический университет,  
г. Волгоград

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ КОМПОЗИТА СТАЛЬ – АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ

*Ключевые слова:* сварка взрывом, ультразвуковая обработка, композиционный материал, структура, зона соединения.

Композиционные материалы из стали с алюминием нашли широкое промышленное применение благодаря комбинированному сочетанию целого комплекса эксплуатационных свойств, таких как высокая прочность сталей с малой плотностью, электросопротивлением и высокой теплопроводностью алюминиевых сплавов. Сварка взрывом, в силу ряда ее особенностей, является наиболее целесообразным способом изготовления стале-алюминиевых соединений. Вместе с тем к негативным явлениям данного способа следует отнести образование в зоне соединения оплавленного металла и других неоднородностей, снижающих прочность и эксплуатационные свойства сваренного композита. Создание биметаллических и многослойных композитов из металлов с резко отличающимися физико-механическими свойствами имеет ряд сложностей, связанных не только с весьма узким диапазоном свариваемости, но и с образованием в зоне соединения значительных термических напряжений и ряда интерметаллидных фаз. Уменьшение вероятности образования нежелательных структур возможно за счет использования низкоскоростных взрывчатых веществ (ВВ), однако промышленный выпуск ВВ с такими характеристиками не освоен.

Соединения стали с алюминиевыми сплавами имеют еще более узкий диапазон свариваемости, напрямую зависящий от исходной твердости сплава, при увеличении которой более 500 МПа просто невозможно получить равнопрочное сварное соединение [1]. На практике эта проблема решается путем введения между алюминиевым сплавом и сталью тонкой алюминиевой прослойки (производством таких композитов занимаются компании «Энергометалл», NodelClad, Dynamic Materials Corporation), являющейся в данном случае диффузионным барьером, однако при этом не только усложняется технология получения композитов, увеличивая тем самым себестоимость продукции, но и в большинстве случаев прочность соединения остается на уровне алюминия.

Решением данной проблемы может служить внедрение качественно новых технологий, основанных на комбинированном воздействии нескольких видов энергии. Результаты совместного воздействия взрывного нагружения и ультразвуковых волн, рассмотренные в работах [2–4] на однородных парах металлов, показали феноменологический характер, открывая при этом перспективы расширения области свариваемости, что особенно актуально при сварке металлов вблизи «нижней границы». В связи с этим значительный интерес представляют исследования влияния ультразвука в ходе взрывного нагружения на формирование соединения АМг5 + Сталь 10.

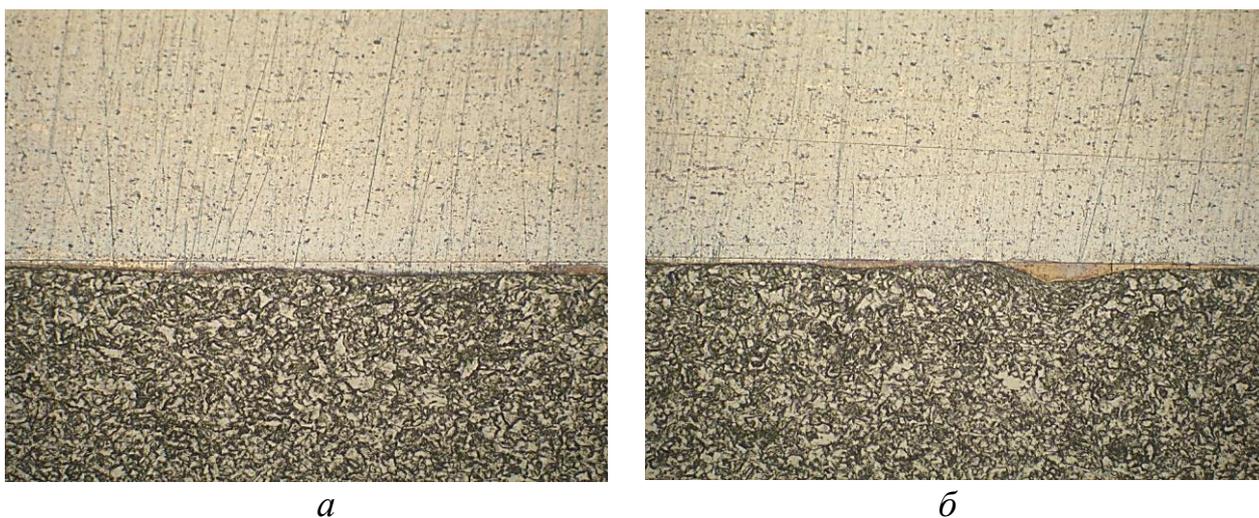


Рис. 1. Микроструктура зоны соединения композита АМг5 + Сталь 10, полученного: *а* – сваркой взрывом с воздействием ультразвука; *б* – сваркой взрывом

Начальные эксперименты проводились при идентичных условиях взрывного нагружения. Для этого применялась усовершенствованная схема сварки взрывом с одновременным воздействием ультразвука [5] одной из свариваемых неподвижных пластин, которая позволяла одной метаемой пластиной одновременно сваривать два неподвижных образца, один из которых являлся исследуемым (с воздействием ультразвуковых колебаний), второй – контрольным (без применения ультразвука).

Проведенные начальные исследования (рис. 1) подтвердили целесообразность введения ультразвука при сварке взрывом композита АМг5 + Сталь 10: по обратной схеме плакирования (метаемая пластина Сталь 10) удалось достичь значений прочности на отрыв слоев порядка 280 МПа, что фактически является показателем равнопрочности. Тем не менее полученные данные требуют проведения дальнейшего детального исследования данного процесса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Совета по грантам Президента РФ (СП-1940.2016.1).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев И. В., Оголихин В. М., Шемелин С. Д. Обработка материалов взрывом в технологических приложениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 179 с.
2. Влияние схемы распространения ультразвуковых колебаний на структуру и свойства свариваемых взрывом соединений / Е. В. Кузьмин, А. П. Пеев, С. В. Кузьмин [и др.] // Сварка и диагностика. 2016. № 3. С. 53–57.
3. Кузьмин С.В., Лысак В. И., Кузьмин Е. В. Применение ультразвука при сварке взрывом // Научные технологии в машиностроении. 2017. № 7 (73). С. 3–10.
4. Измерение температуры в шве при сварке металлов взрывом под действием ультразвука / В. В. Пай, М. А. Гулевич, И. В. Яковлев [и др.] // Известия ВолгГТУ. Сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. 2016. № 10 (189). С. 5–10.
5. Investigation of Interface Morphology and Properties of Aluminum and Copper Samples Obtained by Ultrasound-Assisted Explosive Welding / E. V. Kuz'min [et al.] // Key Engineering Materials. Vol. 746. P. 240–245.