

УДК 678.8

Особенности получения композиционных материалов сваркой взрывом с воздействием ультразвука

Кузьмин Е.В., Лысак В.И., Кузьмин С.В., Пеев А.П.

Features for production composite materials by ultrasound-assisted explosive welding technology

Kuz'min E.V., Lysak V.I., Kuz'min S.V., Peev A.P.

Современный уровень развития большинства отраслей промышленности и техники напрямую связан с созданием новых материалов, сочетающих высокие технико-эксплуатационные свойства с низкой себестоимостью производства. Перспективным направлением для решения этой проблемы является разработка и внедрение качественно новых технологий, в том числе основанных на комбинированном воздействии нескольких видов энергии или совмещении различных способов ее подвода. Получение композиционных материалов сваркой взрывом – единственно приемлемое технологическое решение для ряда материалов и конструкций, так как позволяет получать качественные соединения, широко используемые в различных отраслях промышленности при сравнительно низкой себестоимости технологического процесса, не требующего применения сложного или специального оборудования. Однако, при сварке взрывом трудносвариваемых материалов с резко отличающимися физико-механическими свойствами, диапазон получения качественного соединения значительно уже, чем при сварке металлов с удовлетворительной металлургической совместимостью, и любое отклонение от оптимальных значений параметров взрывного нагружения приведет к образованию различного рода дефектов, снижающих прочностные и эксплуатационные свойства соединения [1-2]. Поэтому актуальной задачей является расширение диапазона свариваемости, которое

возможно за счет совместного действия процесса взрывного нагружения и воздействия ультразвука (УЗ) на структуру и свойства в процессе формирования соединений [3-5].

Для проведения исследований в качестве основных материалов применялись пластины из стали ВСтЗсп, меди М1 в состоянии после отжига и алюминия А5 толщиной 2, 3,5 и 4 мм соответственно.

Сварку взрывом с одновременным воздействием ультразвука на неподвижную пластину осуществляли по разработанной схеме [6] с встречно-направленным распространением ультразвуковых колебаний относительно скорости точки контакта (направления сварки). Для сравнения полученных результатов одновременно производили сварку образцов на идентичных режимах без воздействия ультразвука (контрольные образцы) (рис. 1).

Расчет параметров режима сварки взрывом осуществляли с использованием пакета прикладных программ EW Calc [7]. В качестве ультразвукового генератора использовали установку УЗГИ-2 питающую пьезокерамический преобразователь [8], предназначенный для преобразования электрических сигналов в механические колебания.

Проведенные исследования показали, что воздействие ультразвуковых колебаний на свариваемые материалы в процессе сварки взрывом оказывает существенное влияние на структуру и свойства полученных соединений. Так, обнаружен эффект изменения структуры

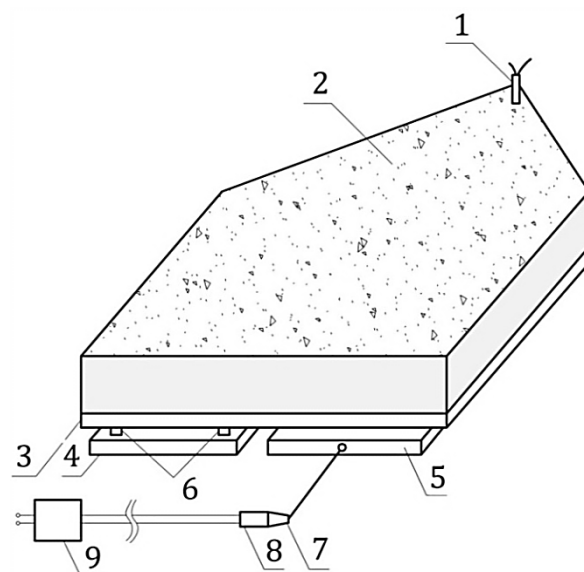


Рис. 1. Схема сварки взрывом с воздействием ультразвука:

1 – электродетонатор; 2 – заряд взрывчатого вещества; 3 – метаемая пластина; 4 – неподвижная пластина; 5 – неподвижная пластина с подводом ультразвуковых колебаний; 6 – опорные элементы; 7 – волновод; 8 – пьезокерамический преобразователь; 9 – ультразвуковой генератор.

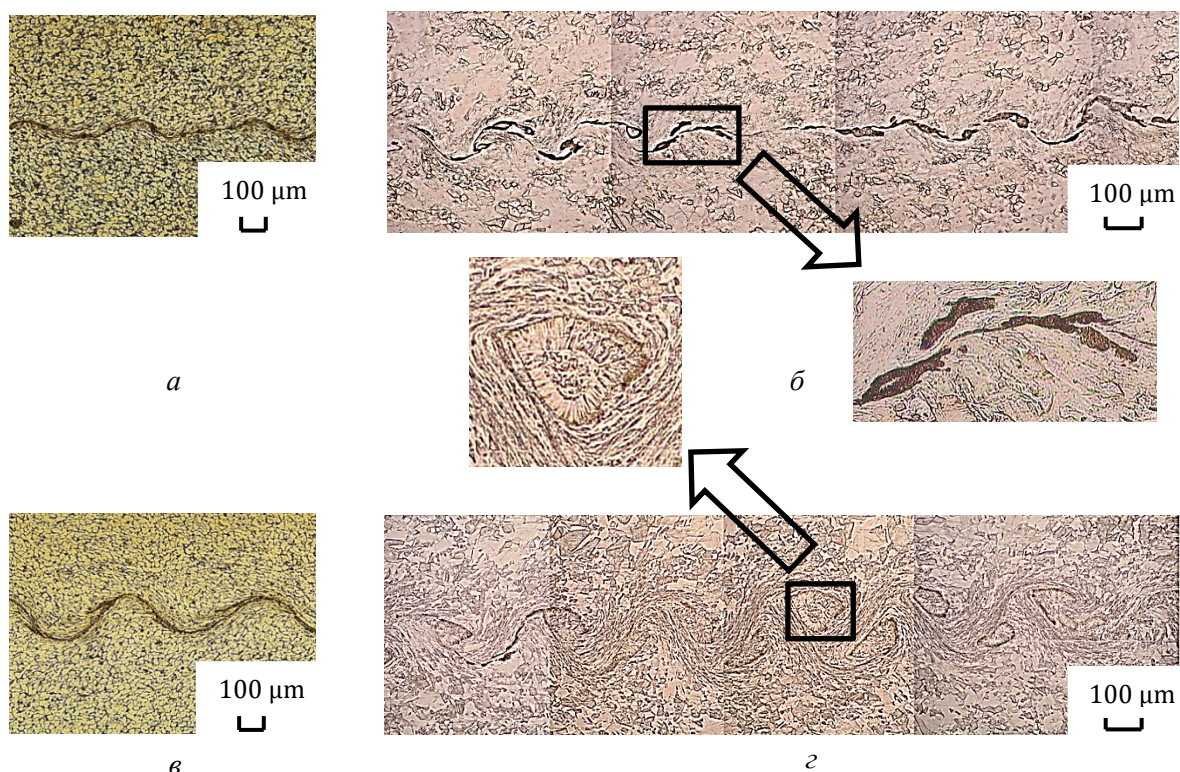


Рис. 2. Микроструктура границы соединений ВСт3сп+ВСт3сп (а, в) и М1+М1 (б, г), полученных:

а, б – сварка взрывом с воздействием ультразвука; в, г – сварка взрывом.

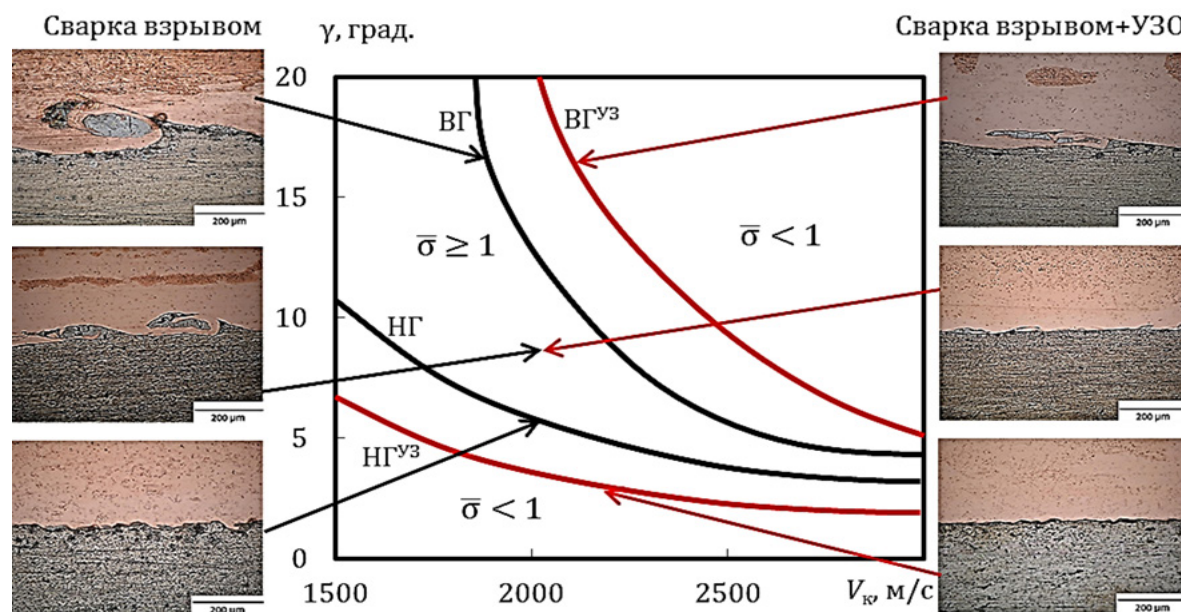


Рис. 3. Влияние воздействия ультразвука на область сварки взрывом соединения М1+А5:

ВГ – верхняя граница; НГ – нижняя граница.

и свойств сварных соединений в условиях сварки взрывом с воздействием ультразвука, проявляющийся в увеличении их прочности, микротвердости приконтактных слоев металла и существенном уменьшении параметров волн и количества оплавленного металла в зоне соединения по сравнению с соответствующими характеристиками образцов, полученных сваркой взрывом без применения ультразвука (рис. 2). В медных образцах воздействие УЗ колебаний принципиально меняет волновой профиль зоны соединения, форму и структуру оплавленных участков: при сварке взрывом + УЗ наблюдаются небольшие волны с тонкой прерывающейся прослойкой оплавленного металла, вытянутой вдоль линии соединения (рис. 2, б), тогда как контрольные образцы имеют четко-выраженный синусоидальный профиль волны с оплавками больших объемов, вокруг центра кристаллизации которых расположены игольчатые дендриты (рис. 2, г).

Для изучения влияния воздействия ультразвука на изменение области сварки взрывом меди с алюминием, а также на структуру и свойства полученных соединений также была

проведена серия экспериментов сварки взрывом с воздействием ультразвука. Чтобы полностью охватить основные характерные области сварки взрывом пары алюминий-медь скорость точки контакта V_k варьировалась в диапазоне от 1600 до 3000 м/с, скорость соударения V_c от 140 до 530 м/с, а угол соударения изменялся от 4° до 15° , что позволяло менять энергию W_2 в диапазоне от 0,07 до 1,0 МДж/м². Результаты проведенных исследований показали, что в достаточно широком диапазоне режимов сварки взрывом в медно-алюминиевых образцах, подвергнутых одновременной УЗО, прочность на отрыв слоев $\sigma_{отр}$ выше, а количество оплавленного металла $K_{опл}$ на границе соединения значительно меньше по сравнению с контрольными образцами без воздействия ультразвука (рис. 3).

Экспериментально установлено, что сварка взрывом с воздействием ультразвука позволяет существенно расширить область свариваемости пары алюминий-медь как близи нижней границы, так и вблизи верхней, и получать на низкоинтенсивных режимах сварки равнопрочные соединения практически без опла-

ленного металла с минимальным развитием структурной и механической неоднородностей. Тем не менее несмотря на очевидный эффект, данный комбинированный процесс является принципиально новым и требует дальнейшего детального исследования.

Литература

1. Лысак В.И. Сварка взрывом / В.И. Лысак, С.В. Кузьмин. – М.: Машиностроение–1, 2005. – 544 с.
2. Оголихин В.М. Сварка взрывом в электрометаллургии / В.М. Оголихин, И.В. Яковлев. – Новосибирск: СО РАН. 2009. – 160 с.
3. Формирование структуры и свойств свариваемых взрывом соединений под действием ультразвука / А.П. Пеев, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, Е.В. Кузьмин, А.Н. Дородников // Физика металлов и металловедение. 2015. Т. 116, № 8. – С. 861-866.
4. Особенности формирования медно-алюминиевых соединений при сварке взрывом с воздействием ультразвука / Е.В. Кузьмин, А.П. Пеев, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, А.Н. Дородников, А.Е. Сорокин, Е.А. Никулин // Известия ВолгГТУ. Сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. – Волгоград, 2015. № 10 (170). – С. 70-78.
5. О влиянии параметров ультразвуковой обработки на структуру и свойства алюминиевых соединений при сварке взрывом / Е.В. Кузьмин, А.П. Пеев, В.И. Лысак, С.В. Кузьмин, А.Н. Дородников // Известия ВолгГТУ. Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. № 20 (147). – С. 21-24.
6. Пат. 2516179 РФ, МПК В23К 20/08. Способ комбинированной сварки взрывом / Лысак В.И., Кузьмин С.В., Пеев А.П., Кузьмин Е.В., заявл. 17.12.2012.
7. Хаустов С.В. Программное обеспечение расчёта параметров режима сварки взрывом / С.В. Хаустов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 2. – С. 21-27 + 3-я стр. обложки.
8. П.М. 140332 РФ, МПК В06В 1/06. Ультразвуковая колебательная система для обработки материалов / Кузьмин Е.В., Кузьмин С.В., Лысак В.И., Пеев А.П., заявл. 24.12.2013.

References

1. Lysak V.I. Svarka vzryvom [Explosion welding] / V.I. Lysak, S.V. Kuz'min. – Moscow: Mashinostroenie–1, 2005. – 544 p.
2. Ogolihin V.M. Svarka vzryvom v jelectrometallurgii [Explosion welding in electrometallurgy] / V.M. Ogolihin, I.V. Jakovlev. – Novosibirsk: SO RAN. 2009. – 160 p.
3. Formirovanie struktury i svojstv svarivaemyh vzryvom soedinenij pod dejstviem ul'trazvuka [Formation of the structure and properties of welded joints by explosion ultrasound] / A.P. Peev, S.V. Kuz'min, V.I. Lysak, E.V. Kuz'min, A.N. Dorodnikov // Fizika metallov i metallovedenie [The Physics of Metals and Metallography]. 2015. T. 116, № 8. – P. 861-866.
4. Osobennosti formirovanija medno-aljuminievyh soedinenij pri svarke vzryvom s vozdejstviem ul'trazvuka [Features of formation of copper and aluminum compounds in the explosion welding with exposure to ultrasound] / E.V. Kuz'min, A.P. Peev, S.V. Kuz'min, V.I. Lysak, A.N. Dorodnikov, A.E. Sorokin, E.A. Nikulin // Izvestija VolgGTU. Ser. Svarka vzryvom i svojstva svarnyh soedinenij [Explosion welding and properties of welded joints]. – Volgograd, 2015. № 10 (170). – P. 70-78.
5. O vlijanii parametrov ul'trazvukovoj obrabotki na strukturu i svojstva aljuminievyh soedinenij pri svarke vzryvom [The influence of parameters of ultrasonic treatment on the structure and properties of aluminum compounds in the explosion welding] / E.V. Kuz'min, A.P. Peev, V.I. Lysak, S.V. Kuz'min, A.N. Dorodnikov // Izvestija VolgGTU. Ser. Svarka vzryvom i svojstva svarnyh soedinenij [Explosion welding and properties of welded joints]. Issue 7. Volgograd, VolgGTU. 2014. № 20 (147). – P. 21-24.
6. Patent RF 2516179, MPK V23K 20/08. Sposob kombinirovannoj svarki vzryvom [The method of combination explosion welding] / Lysak V.I., Kuz'min S.V., Peev A.P., Kuz'min E.V., prop. 17.12.2012.
7. Haustov S.V. Programmnoe obespechenie raschjota parametrov rezhima svarki vzryvom [Software for calculating welding parameters explosion] / S.V. Haustov, S.V. Kuz'min, V.I. Lysak // Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij [Vestnik of Computer and Information Technology]. 2015. № 2. – P. 21-27.

8. Р.М. 140332 RF, МПК V06V 1/06. Ul'tra-zvukovaja kolebatel'naja sistema dlja obrabotki materialov [Ultrasonic oscillation system for material handling] / Kuz'min E.V., Kuz'min S.V., Lysak V.I., Peev A.P., prop.24.12.2013.

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2016 г.

Кузьмин Евгений Владимирович – младший научный сотрудник, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия. E-mail: e-v-kuzmin@ya.ru

Лысак Владимир Ильич – член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, ректор, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия. E-mail: lysak@vstu.ru

Кузьмин Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, декан Факультета технологии конструкционных материалов, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия. E-mail: weld@vstu.ru

Пеев Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры Оборудование и технология сварочного производства, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия. E-mail: weld@vstu.ru

Kuz'min Evgeniy Vladimirovich – Junior Researcher, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. E-mail: e-v-kuzmin@ya.ru

Lysak Vladimir Il'ich – Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. E-mail: lysak@vstu.ru

Kuz'min Sergey Viktorovich – Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. E-mail: weld@vstu.ru

Peev Aleksandr Petrovich – PhD, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. E-mail: weld@vstu.ru