

УДК 534-8

DOI:10.30987/2223-4608-2020-10-29-33

Р.И. Нигметзянов, к.т.н.,

С.К. Сундуков, к.т.н.,

Д.С. Фатюхин, д.т.н.

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64)

E-mail: sergey-lefmo@yandex.ru

Наложение ультразвуковых колебаний в процессе сварки*

Приведены результаты исследований по влиянию передачи ультразвуковых колебаний свариваемому элементу конструкции на геометрию шва при полуавтоматической сварке в среде защитных газов. Рассмотрены эффекты, возникающие в расплавленном металле, при наложении ультразвука, их влияние на процесс формирования сварочной ванны, геометрические параметры и структуру поперечного сечения шва.

Ключевые слова: ультразвук; колебания; кавитация; сварка; сварной шов.

R.I. Nigmatzyanov, Can. Sc. Tech.,

S.K. Sundukov, Can. Sc. Tech.,

D.S. Fatyukhin, Dr. Sc. Tech.

(Moscow State Auto-road Technical University (MADI),
64, Leningradsky Avenue, Moscow, 125319)

Ultrasonic oscillation superposition during welding

There are shown the investigation results on the impact of ultrasonic oscillation transfer to a structure element upon seam geometry during semi-automatic welding in protective gas environment. The effects arising in melt during ultrasound superposition, their impact upon the formation of molten pool, geometrical parameters and structure of seam cross-section are considered.

Keywords: ultrasound; oscillations; cavitation; welding; weld seam.

Введение

Сварка имеет широкое распространение в различных областях промышленности и применяется для создания неразъёмных соединений, мелко- и крупногабаритных конструкций, восстановлении деталей наплавкой и т.д. Учитывая повсеместное использование сварки, исследования, направленные на повышение свойств сварных соединений, актуальны и перспективны [1].

Основными проблемами, возникающими в процессе сварки, являются остаточные напряжения, возникновение пористости шва и сварочные деформации. Данные проблемы выз-

* Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

ваны неравномерным нагревом, связанными с ним изменениями структуры металла шва и в зоне термического влияния [2].

Методы по борьбе с деформациями и с остаточными напряжениями можно разделить на применяющиеся в процессе проведения сварки и после нее. К методам, применяемым в процессе сварки, относятся уравнивание деформаций за счёт рациональной последовательности наложения швов, создание обратных деформаций, жёсткое закрепление свариваемых элементов. Методы, применяемые после сварки – это термообработка сварного шва, механическая правка конструкций, термическая правка, поверхностно-пластическое деформирование (ППД).

Одним из эффективных методов повышения качества сварных соединений является применение ультразвуковых технологий.

В настоящее время широкое распростране-

ние получил метод ультразвукового ППД сварных швов, применяющийся для снижения шероховатости, создания упрочнённого поверхностного слоя и создания сжимающих остаточных напряжений [3, 4]. Данный способ относится к финишной обработке сварного соединения.

Для использования ультразвуковых колебаний непосредственно в процессе сварки применяются методы сообщения колебаний в сварочную ванну через электрод (плавящийся или неплавящийся) или через свариваемый элемент.

Способ передачи колебаний на электрод [5] заключается в том, что на него подаются импульсные колебания, на конце электрода формируется капля расплавленного металла, которая вводится в контакт с расплавленным металлом, после чего ультразвуковые колебания отключаются, но при этом сохраняют связь между электродом и сварочной ванной. Далее процесс повторяется (рис 1).

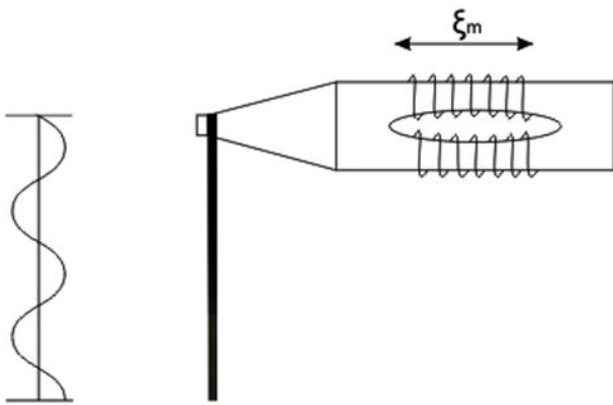


Рис. 1. Схема наложения колебаний на электрод

При использовании данной схемы или её модификации с наложением колебаний через неплавящийся электрод воздействие ультразвука ограничено временем формирования капли и переносом её в сварочную ванну.

Способ наложения колебаний на конструкцию [6] основан на преобразовании гармонических колебаний в ударные импульсы ультразвуковой частоты при помощи набора подвижных ударников, размещенных между возбудителем и конструкцией (рис. 2). Здесь применяется конструкция, аналогичная ультразвуковому ППД свободными деформирующими элементами.

Данная схема (см. рис. 2) может применяться как для релаксации напряжений после сварки, так и для сообщения колебаний свариваемому элементу в процессе сварки. Преимуществом данного метода является отсут-

ствие требований к качеству поверхности в месте подвода колебаний, а недостатком – значительное снижение частоты колебаний при их передаче в системе «волновод – промежуточный элемент (ударники) – обрабатываемая поверхность».

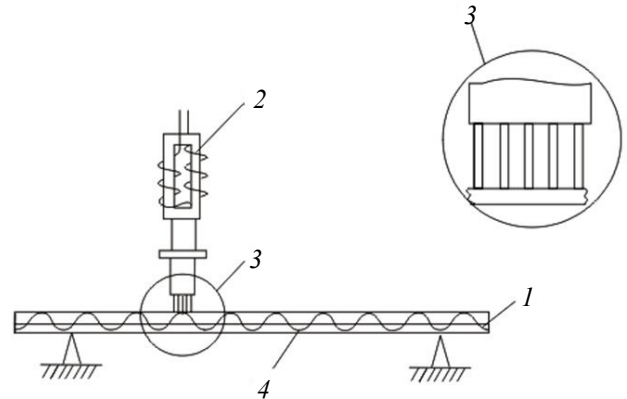


Рис. 2. Схема возбуждения колебаний в конструкции:

1 – конструкция; 2 – возбудитель колебаний; 3 – элементы передачи колебаний (ударники); 4 – волновой рельеф

При проведении исследований в данной работе использовался вариант передачи колебаний с жёстко связанным свариваемым элементом, который позволяет производить ультразвуковую обработку с определённой частотой и на протяжении всего сварочного цикла.

Методика проведения экспериментов

Схема проведения экспериментальных исследований приведена на рис. 3.

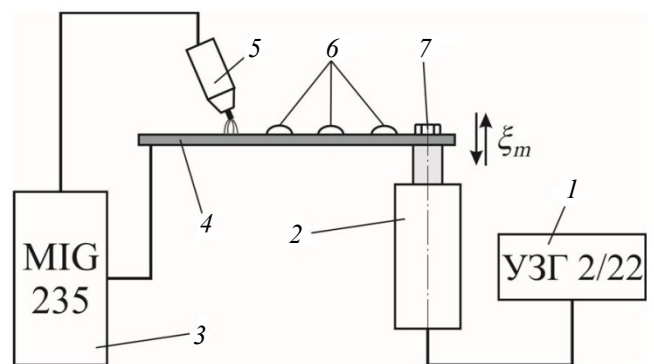


Рис. 3. Схема проведения эксперимента:

1 – генератор ультразвуковых колебаний; 2 – магнито-стрикционная колебательная система; 3 – сварочный агрегат; 4 – пластина; 5 – пистолет для полуавтоматической сварки; 6 – швы; 7 – крепёжный элемент

Двухполуволновая магнито-стрикционная колебательная система 2 (ПМС 2,0-22), запи-

танная от ультразвукового генератора 1 (УЗГ 2/22), через болт 7, присоединялась к пластине 4 из стали Ст3 (габариты 150x30x4 мм). В результате в пластине возбуждались радиально-изгибные колебания с резонансной частотой 19,5 кГц и амплитудой от 2 до 5 мкм. Сварка производилась с помощью сварочного агрегата 3 (SYNERGIC MIG 23) для полуавтоматической сварки в среде защитных газов. Сварка производилась на следующих параметрах:

сварочная проволока.....	Св 08Х2ГС
защитный газ.....	CO ₂
сварочный ток.....	60 А
полярность тока.....	обратная
напряжение.....	28 В
скорость подачи проволоки.....	30 мм/с
время наплавки.....	12 с

Наплавка швов на пластину производилась при включенных ультразвуковых колебаниях с шагом в 30 мм. Выключение ультразвука производилось после остывания шва до 200 °С, что позволило осуществлять воздействие ультразвуковых колебаний на всех интервалах температур, при которых происходят изменения структуры металла.

Используемый ультразвуковой генератор работал в режиме автоматической подстройки частоты, что обеспечивало условия резонанса при изменениях массы, объема и воздействия высоких температур, которые сопровождают сварочный процесс.

Из полученных пластин вырезались образцы и подготавливались шлифы.

Результаты экспериментов и их обсуждение

В данных условиях проведения эксперимента в процессе сварки поверхностью, излучающей ультразвуковые колебания, являлась граница между расплавленным и основным металлом.

При введении ультразвуковых колебаний в ванну расплава возникают эффекты механической природы, к которым относятся кавитация, заключающаяся в образовании и схлопывании кавитационных пузырьков, переменное звуковое давление и акустические потоки. Данные первичные эффекты вызывают ряд вторичных: диспергирование, дегазация, ускорение химических реакций и др.

Воздействия на кристаллизующий металл ультразвуковых колебаний приводят к следующим положительным эффектам:

- в результате интенсификации процесса дегазации происходит уменьшение пористости, снижение разбрызгивания металла, ускорение удаления раскислителей;

- под действием звукового давления и акустических течений происходит активное перемешивание компонентов расплава, обеспечивается равномерность их перемешивания по сварочной ванне;

- схлопывание кавитационных пузырьков приводит к образованию ударных волн и кумулятивных струек, которые диспергируют зародыши кристаллизации, в результате чего увеличивается их количество и скорость кристаллизации увеличивается.

На рис. 4 представлены фотографии, полученные на микроскопе МБС-1, характеризующие изменение геометрических параметров поперечного сечения шва при наложении ультразвуковых колебаний.

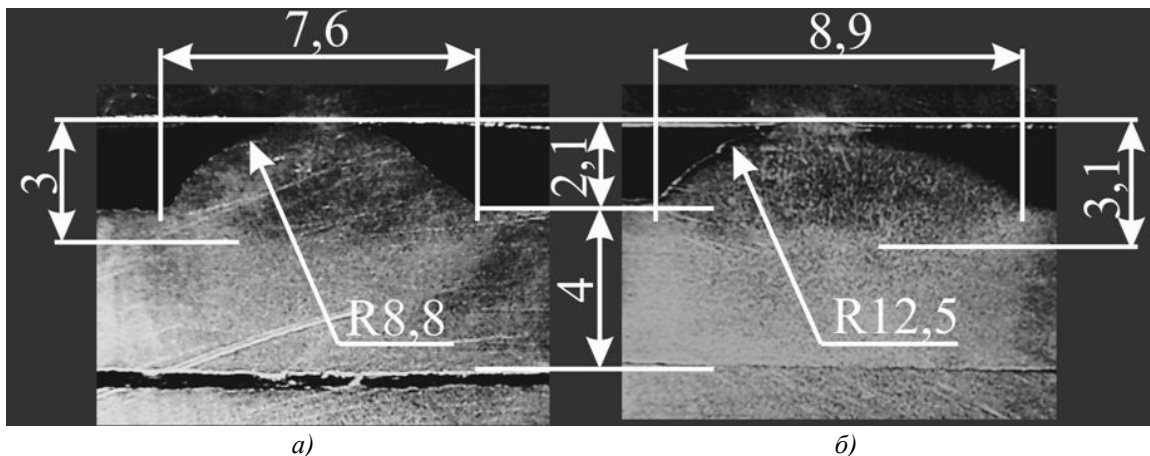


Рис. 4. Геометрические параметры шва в поперечном сечении:

а – с наложением колебаний; б – без наложения колебаний

При приблизительно одинаковой высоте наплавленного валика и глубине провара, шов, полученный при воздействии колебаний, отличается увеличением ширины на 17 %. Увеличение объема наплавленного металла объясняется изменением условий формирования ванны расплава и уменьшением потерь металла на разбрызгивание.

В фазе движения пластины вниз между излучающей поверхностью и расплавленным металлом создается зона разрежения, которую он стремится заполнить. В фазе движения пластины вверх повышается давление, оказываемое столбом дуги на ванну расплава, в результате чего усиливается интенсивность вытеснения расплавленного металла из-под основания дуги. При этом также действует эффект растекания жидкой среды под действием вибрационной обработки.

В процессе сварки это выражается эффектом «всасывания» металла в сварочную ванну.

Снижение разбрызгивания связано с упорядочиванием процесса газовыделения в условиях ультразвуковых колебаний – вместо интенсивного газовыделения, сопровождающегося взрывообразными выбросами металла из сварочной ванны, протекает процесс ультразвуковой дегазации, характеризующийся зна-

чительно меньшим размером выходящих пузырьков. Под действием колебаний также изменяется характер действия реактивных сил, выталкивающих каплю металла из зоны сварки в момент её переноса в ванну расплава.

Наблюдения в ходе проведения эксперимента показали, что при наложении колебаний начальный этап сварочного процесса сопровождается большим количеством брызг, а после формирования ванны расплава значительным снижением разбрызгивания, по сравнению с процессом получения контрольного образца.

Отсутствие увеличения глубины провара связано с тем, что сварка в среде углекислого газа выполняется с обратной полярностью, что соответствует высокой скорости плавления проволоки и низкой скорости плавления основного металла. В таких условиях глубина проникновения шва определяется, в первую очередь, силой сварочного тока, а влияние ультразвуковых колебаний незначительно.

Микроструктура шва (рис. 5), полученного с наложением колебаний, отличается значительным снижением доли дендритной ликвации. Кавитационные пузырьки диспергируют зародыши кристаллизации, структура становится мелкозернистой.



а)



б)

Рис. 5. Микроструктура металла шва:

а – без наложения колебаний; б – при наложении колебаний

Уменьшение количества дендритов приводит к увеличению прочности и пластичности сварного шва, также обеспечивается снижение структурной неоднородности при переходе от металла шва к основному металлу.

Выводы

В результате проведённых исследований выявлено, что наложение ультразвуковых колебаний на свариваемый элемент приводит к увеличению ширины наплавленного шва и снижению дендритной ликвации в его микроструктуре. При этом отмечено положительное влияние на процесс сварки, связанное с уменьшением разбрызгивания металла и, следовательно, повышением коэффициента наплавки. Данные эффекты позволяют повысить прочность получаемого соединения или интенсифицировать процесс сварки за счёт обеспечения возможности изменения режимов, например, повышение скорости сварки или уменьшение скорости подачи проволоки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабченко, Н.В., Селиверстова, О.В., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Повышение эксплуатационных свойств сварных швов ультразвуковыми методами // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – №1(36). – С. 44-49.
2. Improvement of operational properties of parts permanent joints with ultrasound technologies use // Prikhodko, V., Karelina, M., Sundukov, S., Sukhodolya, A., Moiseev, V. // Journal of Physics: Conference Series 1353(1), 012081
3. Приходько, В.М., Нигметзянов, Р.И., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Инновационные технологические процессы с использованием ультразвука // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 7(73). – С. 11-14.
4. Приходько, В.М. Ультразвуковые технологии при

производстве, эксплуатации и ремонте транспортной техники. – М.: Изд-во «Технополиграфцентр», – 2003. – 253 с.

5. Пат. 946841 СССР, М. Кл.5 В 23 К 9/14. Способ ручной электродуговой сварки / Статников Е.Ш., Федоров В.Ю., Киямов Р.Н., Петриды Н.И., Снятков Е.И. – 2998525/25-27; заявл. 27.08.80; опубл. 30.07.82, Бюл. №28; приоритет 05.08.82. – 3 с.

6. Пат. 931236 СССР, М. Кл.3 В 06 В 3/00. Способ возбуждения высокочастотных упругих колебаний в конструкциях / Статников Е.Ш., Сеньюков В.Л. – 2932620/18-10; заявл. 23.05.80; опубл. 30.05.82, Бюл. №20; приоритет 10.06.82. – 3 с.

REFERENCES

1. Babchenko, N.V., Seliverstova, O.V., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Weld seam operation properties increase through ultrasonic methods // *Bulletin of Moscow State Auto-Road Technical University (MADI)*. – 2014. – No.1(36). – pp. 44-49.
2. Improvement of operational properties of parts permanent joints with ultrasound technologies use // Prikhodko, V., Karelina, M., Sundukov, S., Sukhodolya, A., Moiseev, V. // *Journal of Physics: Conference Series 1353(1)*, 012081
3. Prikhodko, V.M., Nigmatzyanov, R.I., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Innovation engineering processes with ultrasound use // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No.7(73). – pp. 11-14.
4. Prikhodko, V.M. *Ultrasonic Technologies During Manufacturing, Operation, and Repair of Transport Equipment*. – М.: “Technopolygraphcenter” Publishers, - 2003. – pp. 253.
5. Pat. 946841 the USSR, M. Cl.5 B23 K 9/14. *Method of Manual Electric Arc Welding* / Statnikov E.Sh., Fyodorov V.Yu., Kiyamov R.N., Petridy N.I., Snyatkov E.I. 2998525/25-27; applied: 27.08.80; published: 30.07.82, Bull. No.28; priority: 05.08.82. – pp. 3.
6. Pat. 931236 the USSR, M. Cl.3 B 06 B 3/00. *Method for High-frequency Elastic Oscillation Excitation in Structures* / Statnikov E.Sh., Senyukov V.L. – 2932620/18-10; applied: 23.05.80; published: 30.05.82, Bull. No.20; priority: 10.06.82. – pp. 3.

Рецензент д.т.н. В.Д. Александров

