

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ТОРЦА ЭЛЕКТРОДА

**В. А. ЛЕБЕДЕВ<sup>1</sup>, С. В. ДРАГАН<sup>2</sup>, Ж. Г. ГОЛОБОРОДЬКО<sup>2</sup>, И. В. СИМУТЕНКОВ<sup>2</sup>, Ю. А. ЯРОС<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup> Нац. ун-т кораблестроения им. Адмирала Макарова. 54025, г. Николаев, просп. Героев Сталинграда, 9.  
E-mail: simutenkov@inbox.ru

<sup>3</sup> ООО НПФ «АМИТИ». 54028, г. Николаев, ул. Новозаводская, 42. E-mail: yaros.amity.mk.ua@gmail.com

Приложение к электроду высокочастотных импульсных перемещений, создаваемых с помощью специально разработанного электромеханического генератора, позволяет повысить производительность плавления электрода и обеспечить управление геометрическими параметрами валика при автоматической наплавке под флюсом. Цель настоящей работы — экспериментальная оценка влияния высокочастотных колебаний электрода на технологические характеристики процесса автоматической наплавки под флюсом конструкционных сталей. Установлено, что стабильность дугового процесса и качество формирования наплавленного слоя при автоматической наплавке под флюсом с высокочастотными импульсными перемещениями электрода соответствуют аналогичным показателям для наплавки без управляющего воздействия. Анализ осциллограмм силы тока и напряжения дуги показал, что высокочастотные колебания электрода позволяют управлять параметрами переноса электродного металла. Вследствие высокочастотных колебаний торца электрода под действием импульсных перемещений изменяется частота колебаний напряжения дуги: от 15...20 Гц — при естественном капельном переносе металла, к частотам без ярко выраженных экстремумов, что обусловлено измельчением капель, отделяемых с электрода. Увеличение частоты управляющего воздействия приводит к возрастанию коэффициента наплавки с 15,0 г/(А·ч) без колебаний до 22,6 г/(А·ч) при частоте 320 Гц. Изменение амплитуды колебаний от 0,5 до 3 мм в исследуемом диапазоне частот позволяет снизить долю основного металла в наплавленном при 30%-м перекрытии валиков с 0,25 (наплавка без колебаний) до 0,14. Библиогр. 9, рис. 5.

*Ключевые слова:* автоматическая наплавка, импульсное перемещение, колебания, электрод, технологические характеристики

Несмотря на длительный период развития существующая технология автоматической наплавки под флюсом привлекает внимание разработчиков, благодаря имеющемуся потенциалу повышения качества наплавленного слоя и производительности [1]. В полной мере раскрыть возможности автоматической наплавки под флюсом можно с помощью различных методов управления переносом электродного металла и свойствами наплавленного слоя. Наиболее активно для этого используют электрический, механический и магнитные методы, а также их комбинации [2, 3]. Комбинация нескольких методов позволяет подобрать наиболее эффективные параметры управляющего воздействия, однако такой подход, как правило, требует больших затрат [3]. Аналогичный эффект, но с меньшими затратами, можно достичь электромеханическим методом, реализуемым с помощью генератора высокочастотных импульсных перемещений электрода [4, 5] в сочетании с серийным сварочным оборудованием.

Сущность данного метода заключается в управлении процессом переноса электродного металла за счет периодического принудительного удаления жидкометаллического слоя с торца электрода в виде капель, масса которых определяется частотой вибрационного воздействия. Последнее, создаваемое генератором импульсных перемещений посредством ударника, прикладывается к электроду на участке вылета в соответствии со схемами, приведенными в [4].

Поперечное высокочастотное (до 10 кГц) механическое импульсное воздействие на электродную проволоку позволяет управлять размерами наплавленного валика и производительностью процесса при автоматической наплавке под флюсом. Исследования показали [4], что в этом случае глубина проплавления и доля основного металла в наплавке может быть снижена в 3 раза, а коэффициент расплавления электрода увеличен на 10...20 %.

Цель настоящей статьи — экспериментальная оценка влияния высокочастотных колебаний электрода на технологические характеристики процес-

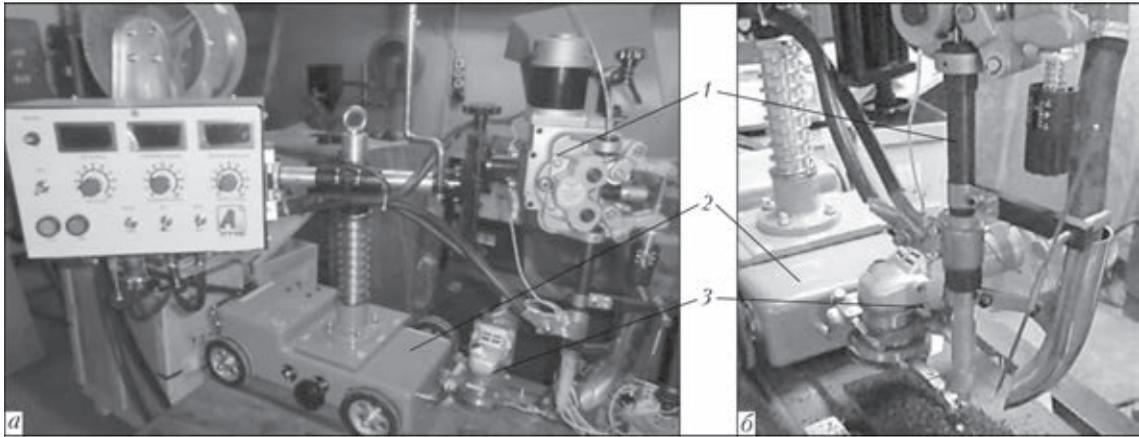


Рис. 1. Варианты размещения на сварочном тракторе генератора импульсных перемещений электродной проволоки: а, б — соответственно поперек и вдоль наплавляемого валика; 1 — сварочная головка; 2 — каретка трактора; 3 — механический генератор

са автоматической наплавки под флюсом узлов и деталей из конструкционных сталей (крановые колеса, шкивы тормозных барабанов и т. п.), подверженных интенсивному износу.

Программу экспериментальных исследований, а также оценку полученных результатов выполняли с использованием возможностей НУК им. Адмирала Макарова, ООО НПФ «АМИТИ» и ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

Исследования проводили на стенде, состоящем из сварочного комплекса АСТ 1000 (инверторный источник питания формирующий падающую вольт-амперную характеристику и сварочный трактор) и генератора высокочастотных импульсных перемещений электрода (рис. 1), который закреплен на сварочной головке, оснащенной системой регулирования напряжения дуги путем воздействия на скорость подачи проволоки. Применение стабилизированного источника питания позволило выполнять наплавку с колебаниями электрода (дополнительным возмущающим воздействием) на минимально допустимой силе тока при сохранении высокой стабильности процесса и скорости, рекомендованной нормативными документами [6].

Стабильность процесса наплавки и влияние колебаний электрода на характер переноса металла оценивали с помощью осциллограмм тока

и напряжения дуги, регистрируемых с помощью электронного USB-осциллографа, и статистически обработанных с помощью пакета прикладных программ Lab View 2013.

Наплавку валиков выполняли на образцы размерами  $500 \times 200 \times 10$  мм из конструкционной стали ВСт3сп. В качестве сварочных материалов в соответствии с рекомендациями [6] использовали следующие сочетания: проволоку Св-08А + флюс ОСЦ-45, проволоку Св-08Г2С + флюс АНК-18. Параметры режима наплавки устанавливали также в соответствии с [6]:  $d_3 = 2$  мм;  $I_n = 200 \dots 250$  А;  $U_d = 27 \dots 30$  В;  $v_n = 18 \dots 22$  м/ч. Высокочастотные импульсные перемещения во всех случаях прикладывали перпендикулярно оси электрода, но вдоль наплавляемого валика, параметры режима колебаний торца электродной проволоки изменяли в следующих пределах: частоту  $f_k = 250 \dots 9000$  Гц, амплитуду  $A_k = 0,5 \dots 3$  мм. Во всех случаях критериями выбора эффективных параметров режима колебаний служили технологическая стабильность процесса и качество формирования наплавленного слоя. Стабильность дугового процесса оценивали с помощью осциллограмм тока и напряжения, качество формирования наплавленных валиков — внешним осмотром и измерением. Коэффициент наплавки определяли по стандартной методике [7], геометрические параметры наплавленных валиков и долю основного металла — по макрошлифам (рис. 2).

Влияние механических высокочастотных колебаний электрода на стабильность процесса наплавки осциллографирование тока и напряжения оценивали непрерывно, начиная процесс без колебаний электрода, а затем продолжая его с колебаниями.

Следует отметить, что особенностью управления переносом металла с помощью поперечных колебаний электрода является отсутствие изменений длины дуги и связанных с этим колебаний

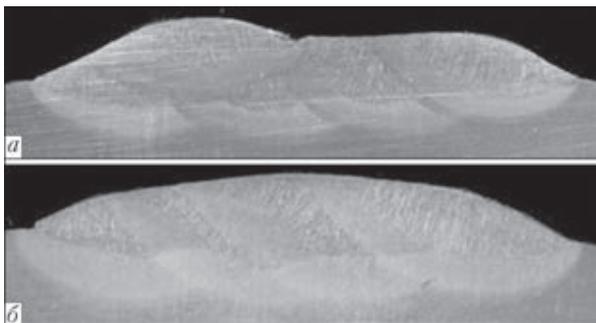


Рис. 2. Макрошлифы наплавленного слоя, выполненного без колебаний (а) и с высокочастотными (б) колебаниями электрода

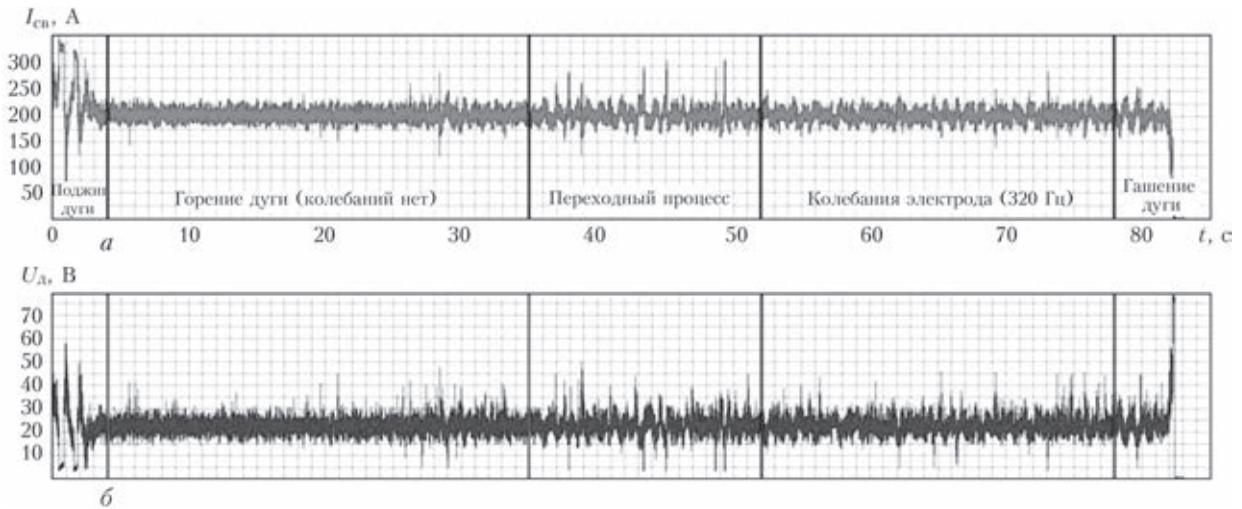


Рис. 3. Осциллограммы тока (а) и напряжения дуги (б) при наплавке ( $d_3 = 2$  мм;  $l_B = 50$  мм;  $I_H = 200$  А;  $U_d = 30$  В;  $v_H = 21$  м/ч;  $f_K = 320$  Гц)

напряжения, обусловленных самим процессом управления, в отличие, например, от процесса при импульсной подаче проволоки [2]. Указанный факт затрудняет идентификацию влияния колебаний электрода на перенос металла. В связи с этим наплавку проводили на режимах, для которых характерен достаточно четко видимый на осциллограммах (рис. 3) процесс крупнокапельного переноса металла [8]. На осциллограммах различаются участки поджига дуги, наплавки при отсутствии колебаний, переходного процесса (при включении генератора импульсных перемещений), наплавки с колебаниями электрода и гашения дуги.

При наплавке с колебаниями электрода, несмотря на некоторое увеличение амплитуды колебаний тока и напряжения, стабильность процесса остается высокой. Наблюдаются характерные периодические изменения исследуемых параметров, свидетельствующие о наличии управляемого процесса удаления жидкометаллического слоя с торца электрода. Подтверждением служат результаты, полученные путем обработки осциллограмм с помощью фурье-преобразования (рис. 4).

Анализ осциллограмм показывает, что колебания напряжения дуги с частотой  $f = 15 \dots 20$  Гц (рис. 4, а), характерные для естественного капель-

ного переноса металла, превращаются в спектр частот без ярко выраженных пиков (рис. 4, б), что связано с уменьшением влияния измельченных высокочастотными колебаниями капель на напряжение и силу тока в дуге. Появление пиков напряжения с частотой 1...2 Гц (рис. 4, б) связано с высокоамплитудными колебаниями ( $A_K > 3$  мм), создаваемыми генератором импульсных перемещений.

При наплавке без колебаний электрода и с колебаниями с частотой от 0, 250, 305 до 350 Гц коэффициент наплавки возрастает следующим образом: 15,0...15,2; 17,9...18,2; 19,6...20,0; 22,4...22,6 г/(А·ч), что подтверждают полученные ранее расчетные результаты [9].

Такое изменение коэффициента наплавки связано с тем, что по мере роста частоты колебаний электрода уменьшается толщина жидкометаллического слоя на торце электродной проволоки и средняя температура отделяемых капель. Вследствие этого повышаются эффективный КПД расплавления электрода дугой, скорость плавления электрода и производительность наплавочного процесса. При этом изменяется и геометрия наплавки (рис. 5): глубина проплавления основного

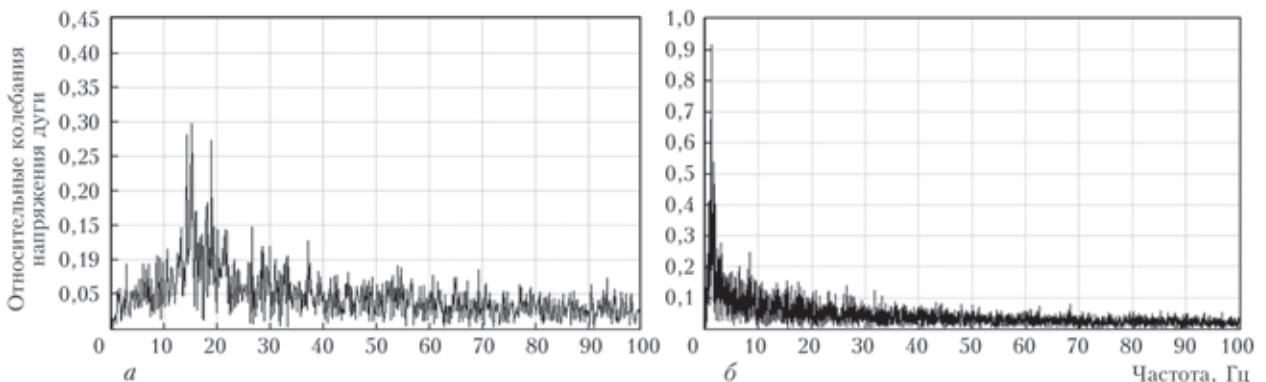


Рис. 4. Частотные спектры напряжения дуги при наплавке без колебаний (а) и с колебаниями (б) электрода

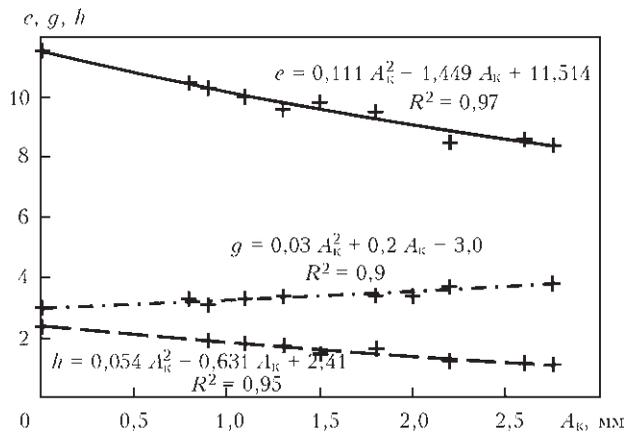


Рис. 5. Влияние амплитуды высокочастотных ( $f_k = 250 \dots 9000$  Гц) импульсных перемещений электрода на геометрические параметры наплавленного валика

металла  $h$  и ширина валика  $e$  снижаются, а высота валика  $g$  увеличивается.

Основным фактором, определяющим размеры наплавленного валика при высокочастотных колебаниях электрода, является амплитуда колебаний его торца. Амплитуда колебаний торца электродной проволоки при использовании разработанного генератора импульсных перемещений достаточно просто регулируется выбором точки приложения импульсного воздействия на вылете электрода и изменением частоты импульсных перемещений. Кроме того, регулировать амплитуду колебаний торца электрода можно путем изменения длины вылета, однако это возможно только в тех случаях, когда длина вылета может быть относительно свободно изменена (наплавка проволоками увеличенных диаметров 4...6 мм из сталей с низким удельным сопротивлением).

С увеличением частоты амплитуда колебаний пропорционально возрастает, тепловое и силовое воздействия дуги и капель электродного металла на сварочную ванну снижаются, вследствие чего глубина проплавления  $h$  и участие основного металла в наплавленном слое уменьшаются. Так, при наплавке с 30 %-м перекрытием валиков без колебаний электрода доля основного металла составляет 0,25, а при наплавке с колебаниями — 0,14, что является положительным фактором экономики сварочных материалов при наплавке.

Для количественной оценки влияния амплитуды колебаний на размеры валика при наплавке с высокочастотными колебаниями электрода экспериментальные данные (рис. 5) с достаточной для практики точностью (среднеквадратичное отклонение  $R^2 \geq 0,9$ ) аппроксимированы полиномами второй степени.

Полученные результаты дают основание считать, что технология автоматической наплавки

конструкционных сталей под флюсом с высокочастотными колебаниями электрода является рациональной при ремонте галтелей гребных валов и реборд крановых колес в соответствии с требованиями РД 212.0080–87 (распространяется на судовые механизмы и устройства, детали механизмов подъемно-транспортной техники портов и гидротехнических сооружений) [6].

## Выводы

1. Импульсное перемещение, прикладываемое к электродной проволоке, которое в свою очередь вызывает высокочастотные колебания торца электрода, позволяет управлять технологическими характеристиками процесса и геометрическими характеристиками валика при автоматической наплавке конструкционных сталей под флюсом.

2. С увеличением частоты импульсных перемещений пропорционально возрастает амплитуда колебаний электрода, достигая 3,0 мм при частоте 320 Гц. При этом коэффициент наплавки повышается с 15,0 до 22,6 г/(А·ч) без снижения стабильности дугового процесса, глубина проплавления увеличивается в 3 раза, высота наплавленного валика возрастает на 30 %.

1. *Лащенко Г. И.* Энергетические характеристики процессов дуговой сварки плавящимся электродом // Автомат. сварка. – 1998. – № 9. – С. 18–23.
2. *Лебедев В. А.* Аспекты выбора оборудования для электродуговой и автоматической сварки с импульсной подачей электродной проволоки // Свароч. пр-во. – 2008. – № 5. – С. 45–49.
3. *Патон Б. Е., Лебедев В. А., Микитин Я. И.* Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке // Там же. – 2006. – № 8. – С. 27–32.
4. *Голобородько Ж. Г., Драган С. В., Симутенков И. В.* Автоматическая наплавка под флюсом конструкционных сталей с поперечными высокочастотными перемещениями электрода // Автомат. сварка. – 2013. – № 6. – С. 35–38.
5. *Пат. 104894. Украина.* Устройство для подачи электродной проволоки / И. В. Симутенков, С. В. Драган, А. Ф. Галь; Заявитель и патентообладатель Национальный университет кораблестроения; Заявл. 21.12.2011; Опубл. 25.03.2014; Бюл. № 6.
6. *РД 212.0080–87.* Руководящий документ по стандартизации. Правила. Автоматическая наплавка стальных цилиндрических деталей углеродистой и коррозионноустойчивой сталью под флюсом. Основные положения. ОКСТУ. – Введен 01.03.88.
7. *Лесков Г. И.* Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
8. *Патон Б. Е., Лебедев В. К.* Электрооборудование для дуговой и электрошлаковой сварки. – М.: Машиностроение, 1966. – 359 с.
9. *Драган С. В., Симутенков И. В., Игнатенков О. В.* Методика определения параметров высокочастотных механических колебаний электрода при автоматической наплавке под флюсом // Вісн. ДДМА. – 2012. – № 3. – С. 124–129.

Поступила в редакцию 30.05.2014