

УДК 621.791.927.5

**Е.В. Лаврова**, канд. техн. наук

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПЛАВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ПЕРЕНОСОМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА****О.В. Лаврова**, канд. техн. наук

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПЛАВЛЕННЯ СТРІЧКОВОГО ЕЛЕКТРОДА З ПРИМУСОВИМ ПЕРЕНОСЕННЯМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ****Yelena Lavrova**, PhD in Technical Sciences

State Higher Educational Institution "Priazovskiy State Technical University", Mariupol, Ukraine

**STUDY OF MELTING PROCESS OF STRIP ELECTRODE WITH FORCED ELECTRODE METAL TRANSFER**

*Приведены результаты исследований производительности расплавления электродного металла при наплавке лентой с управляемым механическим переносом. Определены оптимальные интервалы технологических параметров для процесса наплавки с управляемым переносом электродного металла. Показано, что использование управляемого переноса приводит к заметному увеличению коэффициента расплавления ленточного электрода.*

**Ключевые слова:** ленточный электрод, управляемый перенос электродного металла, макроструктура, расплавление ленточного электрода, электродуговая наплавка.

*Наведено результати досліджень продуктивності розплавлення электродного металу при напавленні стрічкою з керованим механічним перенесенням. Визначено оптимальні інтервали технологічних параметрів для процесу напавлення з керованим перенесенням электродного металу. Показано, що використання керованого перенесення приводить до помітного збільшення коефіцієнта розплавлення стрічкового електрода.*

**Ключові слова:** стрічковий электрод, кероване перенесення электродного металу, макроструктура, розплавлення стрічкового електрода, электродугове напавлення.

*The results of research performed the melting electrode metal during surfacing welding with controlled mechanical transfer. The optimal ranges of technological parameters for the welding process with the controlled transfer of electrode metal were defined. It is shown that the use of controlled transfer leads to a marked increase in the melting rate of the electrode rod.*

**Key words:** strip electrodes, with the transfer of electrode metal, macrostructure, melting tape electrode arc welding.

**Постановка проблемы.** Эффективным направлением совершенствования механизированной дуговой наплавки является обеспечение скорости подачи электрода по законам, обеспечивающим принудительный отрыв и перенос капель расплавленного металла в сварочную ванну. В случае использования ленточного электрода пока недостаточно исследовано влияние параметров импульсов на процесс расплавления электродного металла и переноса его в сварочную ванну. При внедрении разработанных технологий в производство необходимо определить оптимальные значения частоты и амплитуды колебаний с целью повышения производительности процесса.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Исследованиям конструктивных особенностей оборудования и процессов управляемого переноса при наплавке проволочным электродом посвящен ряд работ [1–3], в которых определены функциональные зависимости, связывающие параметры режима сварки (наплавки) с характеристиками процесса плавления и переноса электродного металла. Имеются публикации об использовании управляемого механического переноса при наплавке ленточным электродом. Исследованы варианты кинематических схем, расчетные зависимости и влияние параметров устройства на процесс колебания торца ленточного электрода [4–5].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Внедрение оборудования, разработанного для наплавки ленточным электродом с управляемым механическим переносом [6], в производственных масштабах предполагает подробное изучение сил, действующих на каплю электродного металла, и их влияние на процесс плавления и переноса в ванну.

Сущность процесса дуговой наплавки с принудительным переносом электродного металла заключается в управлении характеристиками процесса за счет использования

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

дополнительной силы, которая, будучи приложена к капле, резко изменяет характер плавления и переноса электродного металла. Такой силой в данном случае служит инерционная сила, возникающая при ускоренном движении системы электрод-капля. Кроме традиционных параметров режима наплавки (ширина, толщина ленточного электрода, ток, напряжение на дуге, скорость подачи ленточного электрода, скорость наплавки, расход флюса), процесс наплавки с принудительным переносом электродного металла характеризуется дополнительными параметрами, главные из которых – шаг подачи и частота следования импульсов подачи.

**Цель статьи.** Главная цель этой работы состоит в экспериментальном определении оптимальных параметров режима наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительным переносом электродного металла.

**Изложение основного материала.** С помощью разработанного и сконструированного устройства были проведены исследования способа наплавки под флюсом ленточным электродом сплошного сечения с принудительным механическим переносом электродного металла.

Для наплавки использовался автомат самоходный тип А–874Н. В качестве источника сварочного тока использовали выпрямитель ВДУ–1201. Наплавку валиков на пластины из стали Ст3 толщиной 20 мм выполняли ленточными электродами Св08А и Х18Н10Т. Стабильность процесса наплавки и характеристики переноса электродного металла с торца ленточного электрода изучали по осциллограммам тока и напряжения.

Запись осциллограмм производилась с помощью исследовательского комплекса, состоящего из ПК, портативного АЦП – платы сбора данных ЛА-50USB и соединительных кабелей. Для надежной работы ЛА-50USB в условиях наличия помех от протекания тока по сварочному контуру была собрана защитная плата, содержащая набор дифференциальных усилителей и фильтров защиты по каждому каналу. С ленточного электрода показания напряжения снимались с помощью датчиков, расположенных на текстолитовой пластине, затем через защитную плату сигнал поступал на АЦП ЛА–50USB и обрабатывался с помощью специального прикладного программного обеспечения.

При исследовании процесса наплавки использовались следующие параметры режима: сила сварочного тока – 320–850 А; напряжение на дуге – 28–42 В; шаг наплавки – 10–14 мм; ленточные электроды марок – Св08А и Х18Н10Т, шириной от 22 до 65 мм и толщиной от 0,5 до 1,2 мм.

В результате получены макроструктуры образцов, наплавленных лентами различной ширины ( $B$ ), толщины ( $\delta$ ) и материалов.

На рис. 1–3 приведены характеры макроструктур наплавки ленточными электродами сплошного сечения Св08А и ст. 3 различной ширины и толщины.

По характеру линии сплавления с основным металлом можно судить о равномерном распределении тепловой энергии по ширине наплавленного валика, равномерном сплавлении с основным металлом, снижении вероятности появления дефектов в наплавленном шве.

Характеры макроструктур наплавки под флюсом ленточным электродом сплошного сечения без принудительного переноса показаны на рис. 1–3:



Рис. 1. Характер макроструктуры наплавки ленточным электродом с принудительным переносом электродного металла Св-08-А: а –  $B=40$  мм,  $\delta=1,5$  мм; б –  $B=50$  мм,  $\delta=1,5$  мм



Рис. 2. Характер макроструктуры наплавки ленточным электродом: а – с принудительным переносом электродного металла ст. 3,  $V=50$  мм,  $\delta=1,5$  мм; б – без принудительного переноса электродного металла Св-08-А,  $V=60$  мм,  $\delta=1,5$  мм



Рис. 3. Характер макроструктуры наплавки ленточным электродом без принудительного переноса электродного металла: а – Св-08-А,  $V=60$  мм,  $\delta=1,5$  мм; б – ст. 3,  $V=40$  мм,  $\delta=0,5$  мм

Оценка качества формирования зоны проплавления производилась по макрошлифам наплавленных валиков путем измерения значений глубины проплавления основного металла в 5–7 точках и определения диапазона разброса измеренных величин. Также определялся разброс геометрических параметров зоны наплавки и средние значения глубины проплавления и высоты усиления наплавленного валика.

Установлено, что при использовании принудительного переноса металла с торца ленточного электрода средние значения глубины проплавления и высоты усиления валика находятся на том же уровне, что и без использования колебаний торца, притом, что средние значения тока при наплавке с колебаниями на 30–50 А ниже, чем при их отсутствии. В то же время относительные показатели имели тенденцию к снижению на 10–15 % при использовании принудительных колебаний.

Таким образом, при использовании принудительных колебаний торца ленточного электрода за счет управления тепломассопереносом в сварочную ванну осуществляется стабилизация процесса расплавления ленты и основного металла, что обеспечивает повышение стабильности глубины проплавления по ширине наплавленного валика, возможность энергосбережения за счет наплавки на пониженных режимах и снижения затрат на механическую обработку наплавленной поверхности.

При автоматической наплавке под флюсом, когда применяются большие плотности тока, процесс плавления электрода и флюса зависит от электрических параметров дуги, размеров электрода, физических свойств электродного металла и флюса. Плавление электродного металла и флюса при автоматической наплавке в настоящее время исследовано достаточно полно. В работе [1] установлены основные закономерности процесса плавления ленточного электрода и флюса в зависимости от режима и условий наплавки.

Были проведены исследования по определению влияния параметров процесса наплавки с колебаниями торца на производительность расплавления электрода. Коэффициент расплавления ленточного электрода определяли по стандартной методике путем взвешивания электрода до и после опытных наплавки с замером времени горения дуги.

На рис. 4 представлены экспериментальные данные, характеризующие влияние тока, напряжения, скорости наплавки на величину коэффициента расплавления при автоматической наплавке с принудительным переносом электродного металла сечением 0,5x40 мм под флюсом АН-60. Как видно, при напряжении дуги 32 В и скорости наплавки 10 м/ч коэффициент расплавления ленточного электрода возрастает с 22,0 до 28,0 г/А·ч; при этом он на 15–20 % выше, чем при наплавке без применения принудительных колебаний торца ленточного электрода при тех же условиях наплавки.

Это объясняется тем, что в процессе плавления ленточного электрода за счет наложения принудительных механических колебаний происходит равномерное оплавление торца ленточного электрода за счет обеспечения равномерного распределения тепловой энергии по ширине ленточного электрода и контролируемый сброс капель жидкого металла.

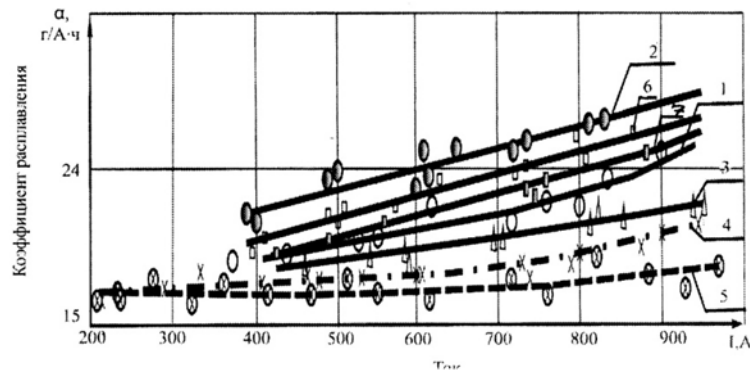


Рис. 4. Влияние изменения величины тока, напряжения и скорости наплавки на коэффициент расплавления: 1 – с применением принудительного переноса, ленточный электрод сечением 0,5x40 мм, материал Св08А,  $U_0=32В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=30 Гц$ ; 2 – то же,  $U_0=40 В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=50 Гц$ ; 3 – то же,  $U_0=32 В$ ,  $V_n=15 м/ч$ ,  $f=20 Гц$ ; 6 – то же,  $U_0=40 В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=45 Гц$ ; 7 – то же,  $U_0=32В$ ,  $V_n=10 м/ч$ ,  $f=40 Гц$ ; 4 – без применения принудительных колебаний, ленточный электрод сечением 0,5x40 мм, материал Св08А,  $U_0=40В$ ,  $V_n=20 м/ч$ ; 5 – то же,  $U_0=32 В$ ,  $V_n=20 м/ч$

Из рис. 5 видно, что при одинаковых значениях плотности тока коэффициент расплавления растет с увеличением ширины ленты, что связано с увеличением мгновенной плотности тока. Для большей ширины ленты при равной средней плотности тока абсолютное значение тока больше.

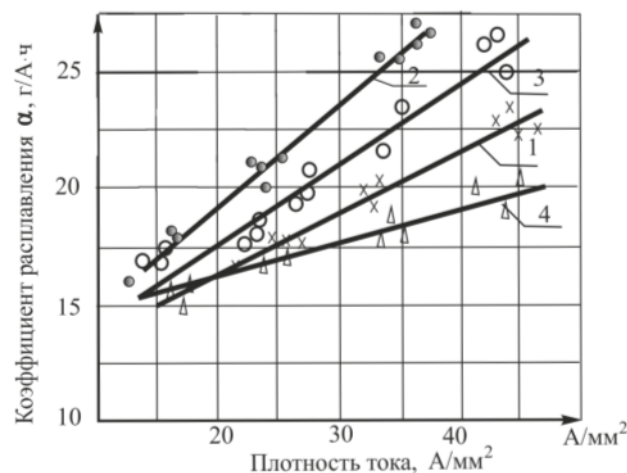


Рис. 5. Зависимость коэффициента расплавления от плотности тока: 1 – ленточный электрод 40x0,5 мм, полярность обратная; 2 – то же, прямая полярность; 3 – ленточный электрод 60x0,5 мм, полярность обратная; 4 – ленточный электрод 20x0,5 мм, полярность обратная

Увеличение напряжения дуги с 32 до 40 В, при прочих равных условиях, приводит к возрастанию коэффициента расплавления ленточного электрода на 20–25 % при использовании механических колебаний. Увеличение коэффициента расплавления с повышением напряжения дуги можно объяснить следующими причинами.

В таблице приведены данные о влиянии режима наплавки и частоты колебаний ленточного электрода на коэффициент расплавления.

С повышением напряжения дуги, при сохранении постоянной величины сварочного тока, увеличивается полная электрическая мощность дуги. Одновременно уменьшаются величина вылета ленточного электрода и предварительный подогрев электрода в вылете.

*Влияние количества колебаний ленточного электрода на коэффициент расплавления*

№ п/п	U <sub>д</sub> , В	V <sub>н</sub> , м/ч	Частота колебаний торца, Гц	Коэффициент расплавления, г/А·ч
1	32	10	30	18-25
2	40	10	50	20-28
3	32	15	20	17-22
4	40	20	–	16-20
5	32	20	–	16-17
6	40	10	45	18-27
7	32	10	40	18-26

Однако увеличение коэффициента расплавления с повышением мощности дуги происходит более интенсивно, чем его уменьшение за счет сокращения вылета, что, в конечном итоге, и приводит к увеличению коэффициента расплавления.

Повышение скорости наплавки с 10 до 15 м/ч приводит к уменьшению коэффициента расплавления на 5–10 %, что объясняется увеличением расхода тепла дуги на плавление флюса.

На характер изменения коэффициента расплавления электродной ленты с изменением напряжения дуги оказывают влияние условия плавления и переноса электродного металла, а также подогрев ленты расплавленным флюсом. Значительный рост коэффициента расплавления не может быть объяснен только более высоким значением термического КПД процесса каплеобразования. С возрастанием напряжения дуги увеличивается количество расплавленного флюса, что приводит к увеличению тока шунтирования и частичному переходу дугового процесса в электрошлаковый. С увеличением количества расплавленного флюса возрастает степень подогрева электрода, контактирующего с ним.

В момент возбуждения и в процессе горения дуги между нерасплавившимися участками ленты и расплавленным металлом сварочной ванны плотность тока в этих участках ленты в десятки и сотни раз больше, чем средняя плотность тока в ленточном электроде. Однако известно, что с увеличением плотности тока в электроде скорость его плавления и коэффициент расплавления увеличиваются. В связи с этим часто повторяющееся увеличение плотности тока на отдельных участках ленты приводит к заметному увеличению коэффициента расплавления ленточного электрода.

Осциллографирование процесса наплавки показало, что при увеличении частоты колебания от 0 до 50 Гц величина разброса полезного сигнала снижается с 55 до 8 мВ на каждый датчик, характер кривой становится регулярным. При дальнейшем увеличении частоты до 70 Гц на осциллограмме появляются нерегулярные всплески и равномерность кривой ухудшается.

**Выводы.** Определены основные требования к параметрам технологического процесса наплавки с принудительным механическим управлением переносом электродного металла, которые осуществляют такие процессы.

Исследовано управление процессом плавления ленточного электрода. Установлено, что при использовании частоты колебаний ленточного электрода в диапазоне 40–50 Гц коэффициент расплавления повышается на 20–25 %, процесс наплавки стабилизируется, что также подтверждается результатами осциллографирования.

**Список использованных источников**

1. Патон Б. Е. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев // Сварочное производство. – 2002. – № 2. – С. 24–31.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. *Лебедев В. А.* Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 31–37.

3. *Лебедев В. А.* Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла. (Обзор) / В. А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 10. – С. 45–52.

4. *Патент* на винахід № 101288, МПК В23К 9/12 (2006.01). Пристрій для наплавлення стрічковим електродом під флюсом / О. М. Серенко, О. В. Лаврова, В. П. Иванов, В. О. Серенко (Україна). – № а 201205838 ; заявл. 14.05.12 ; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5. – 4 с.

5. *Лаврова Е. В.* Анализ сил, действующих на каплю электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом с управляемым переносом электродного металла / Е. В. Лаврова // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Серія: Технічні науки : зб. наук. пр. – Краматорськ : Донбаська Державна машинобудівна академія (ДДМА), 2014. – Вип. № 1 (32). – С. 204–209.

6. *Лаврова Е. В.* Разработка устройства для наплавки под флюсом ленточным электродом с управляемым переносом электродного металла / Е. В. Лаврова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки». – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – № 1 (71). – С. 164–167.

УДК 621.791.4

**О.О. Новомлинець**, канд. техн. наук

**С.В. Олексієнко**, канд. техн. наук

**С.М. Ющенко**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**В.О. Мартиненко**, канд. техн. наук

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ КІНЕТИКИ АЛЮМІНІЮ ПРИ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**О.А. Новомлинец**, канд. техн. наук

**С.В. Олексієнко**, канд. техн. наук

**С.М. Ющенко**, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**В.А. Мартыненко**, канд. техн. наук

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ КИНЕТИКИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Oleh Novomlynets**, PhD in Technical Sciences

**Serhii Oleksiienko**, PhD in Technical Sciences

**Svitlana Yushchenko**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**Volodymyr Martynenko**, PhD in Technical Sciences

The Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

### INVESTIGATION OF ALUMINIUM DEFORMATION KINETICS UNDER HIGH TEMPERATURES

*Отримано дані для математичного моделювання високотемпературної деформації алюмінію під час статичного навантаження. Показано можливість теоретичного визначення температурної залежності коефіцієнта Пуассона. Результати можуть бути використані для розроблення технології прецизійного з'єднання алюмінію та його сплавів.*

**Ключові слова:** алюміній, деформація, прецизійне з'єднання, модуль пружності, границя текучості, коефіцієнт Пуассона, швидкість повзучості.