

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 621.791.92

©Серенко А.Н.¹, Лаврова Е.В.², Иванов В.П.³, Серенко В.А.⁴

РАЗРАБОТКА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЯЕМОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА ПРИ НАПЛАВКЕ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Разработана кинематическая схема и исследован процесс управляемого механического переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом, определена аналитическая зависимость между параметрами движения ленточного электрода как одного из способов управляемого принудительного воздействия на процесс переноса электродного металла.

Ключевые слова: ленточный электрод, принудительный механический перенос электродного металла, инерционная сила, кинематическая модель устройства, электродуговая наплавка, угол изгиба.

Серенко О.М., Лаврова О.В., Иванов В.П., Серенко В.О. Розробка кінематичної схеми і дослідження процесу керованого механічного перенесення при наплавленні стрічковим електродом. Розроблена кінематична схема та досліджено процес керованого механічного перенесення електродного металу при наплавленні під флюсом стрічковим електродом, визначена аналітична залежність між параметрами руху стрічкового електроду як одного із способів керованого примусового впливу на процес переносу електродного металу.

Ключові слова: стрічковий електрод, примусове механічне перенесення електродного металу, інерційна сила, кінематична модель пристрою, електродугове плавлення, кут вигину.

O.M. Serenko, O.V. Lavrova, V.P. Ivanov, V.O. Serenko. The development of the kinematical scheme and study the process of controlled mechanical transfer during surfacing with the strip electrode. Developed kinematical scheme and to investigate the process managed a mechanical transfer of electrode metal in surfacing submerged tape the electrode, the analytic relationship between the motion parameters strip electrode as a way to manage impact of forced-action on the transfer process of the electrode metal.

Keywords: strip electrode, forced mechanical transfer of electrode metal, the inertial force, the kinematics' model of the device, the electric arc overlaying, the angle of the bend.

Постановка проблемы. Анализ дефектов наплавленных изделий показывает, что одной из причин их образования является стохастичность процесса переноса электродного металла с торца ленточного электрода на наплавляемую поверхность. Разработка надежных и простых способов, обеспечивающих управляемый процесс переноса капель с ленточного электрода до настоящего времени не имеют приемлемого решения.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблеме переноса капель электродного металла при электродуговой сварке и наплавке посвящено большое количество исследований [1-5].

Известен способ дуговой сварки и наплавки плавящимся электродом, осуществляющийся

¹ канд. техн. наук, проф., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

с помощью устройства, содержащего механизм импульсной подачи электродной проволоки со специальным редуктором на основе квазиволнового преобразователя и традиционного роликового узла [1]. Существенным фактором, влияющим на эффективность импульсной подачи в техническом и технологическом аспекте, является придание ускорения капли на торце электрода, формируемое механизмом импульсной подачи и системой подачи в целом.

Однако, несмотря на имеющиеся данные, полученные в ИЭС им. Е.О. Патона и другими исследователями, о преимуществах применения механизмов импульсной подачи электродной проволоки, они не получили широкого распространения. Причиной этого является недостаточные для длительного периода эксплуатации надежность механизмов, невозможность получения для ряда механизмов импульсов с требуемыми для эффективного массопереноса характеристиками (шагом, частотой, ускорением).

Существующие механизмы импульсной подачи электродной проволоки [2, 3], с регулированием параметров импульсов, как и многие подобные, не применимы для наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительным сбросом электродного металла.

Для наплавки под флюсом ленточным электродом важна не только импульсная подача, но и частота колебаний торца ленточного электрода, а также другие факторы, обеспечивающие принудительный сброс металла для равномерного распределения тепловой энергии в сварочной ванне.

Цель статьи – состоит в получении количественных характеристик разработанной кинематической схемы для регулируемого принудительного механического переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом.

Изложение основного материала. Для реализации принудительного переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом предложено устройство, позволяющее производить регулируемый изгиб ленточного электрода за счет наличия шарнира в приставке (рис. 1). Устройство содержит: вращающиеся подающие ролики (1); верхние (2) и нижние (3) направляющие; между направляющими установлен эксцентриковый возбудитель колебаний на валу (4) вращающийся с помощью двигателя; шарнир (5) с помощью которого регулируется угол изгиба; токоподвод (6); ленточный электрод (7) для наплавки изделия (8).

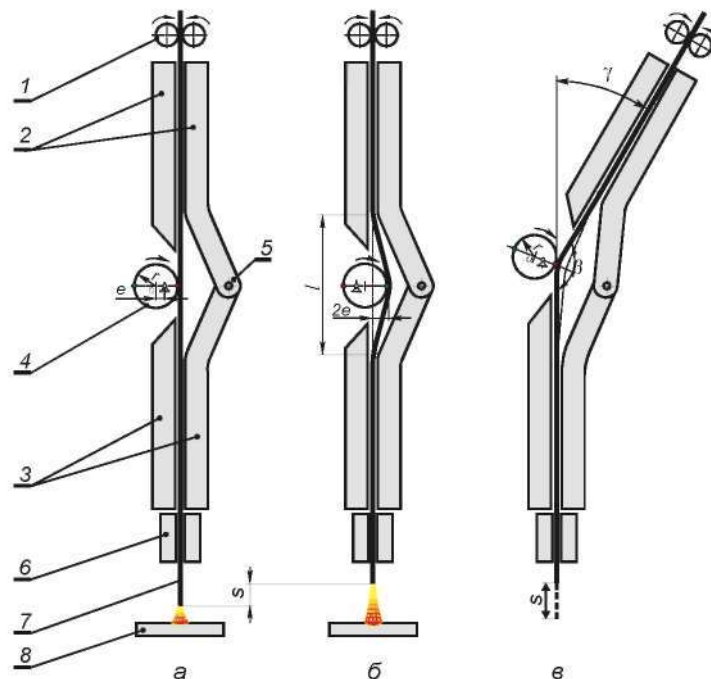


Рис. 1 – Схема устройства для принудительного механического переноса электродного металла: а, б – без начального изгиба ленточного электрода; в – с предварительным изгибом на угол β

Устройство функционирует следующим образом: приводятся во вращение подающие ро-

лики (1) между которыми подается ленточный электрод (7). В процессе подачи электрода осуществляется его изгиб на угол β с помощью поворота верхних направляющих (2) в шарнире (5) на заданный угол γ ($\beta = 180 - \gamma$). За счет изгиба ленточного электрода в зоне контакта с эксцентриком, осуществляется изменение амплитуды колебаний торца ленты S при прочих неизменных параметрах устройства и стабильном положении нижних направляющих. Важно также отметить, что получаемые при этом колебания ограничиваются небольшим участком длины ленточного электрода.

Известно, что при обычном способе наплавки торец ленточного электрода плавится неравномерно по ширине. Образованные при этом капли расплавленного металла будут иметь случайные размеры и хаотичное расположение на торце, следовательно, электродный металл неравномерно распределяется в сварочной ванне, что может привести к образованию химической неоднородности в наплавленном валике, несплавлению и др. дефектам. Предлагаемое устройство позволяет получить управляемый массоперенос электродного металла за счет возвратно-поступательного движения торца ленты, полученного с помощью эксцентрикового механизма возбуждения изгибных колебаний ленточного электрода в зоне шарнирного соединения верхних и нижних направляющих.

Для получения расчетного алгоритма оценки параметров колебаний торца ленточного электрода согласно предложенному устройству, составим кинематическую схему его, приняв некоторые упрощения реальных взаимодействий всех звеньев устройства (рис. 2).

Пусть начальный угол изгиба ленточного электрода будет равным β . Тогда, начальное положение верхней части (плеча) электрода AC относительно оси, проходящей через точки A и B будет определяться углом α_1 ,

зависящим от соотношения основных размеров устройства (длин плеч l_1 и l_2 расстояния AB , начальной стрелки прогиба $CD = a_1 = l_1 \sin(\alpha_1)$).

Эксцентрик с радиусом r и величиной эксцентриситета e , взаимодействует с ленточным электродом в точке его изгиба C и совершает вращательное движение по часовой стрелке с угловой скоростью ω . Постоянство контакта эксцентрика с электродом обеспечивается за счет сил упругости изогнутого электрода. При повороте эксцентрика за время t на угол φ происходит изменение начальной стрелки прогиба электрода на величину $f(t)$, а точка касания эксцентрика с ленточным электродом переместится в точку F . При таком положении эксцентрика начальные длины плеч изогнутой области ленточного электрода l_1 и l_2 изменяются до значений lt_1 и lt_2 соответственно, а торец электрода переместится из точки B в точку E , получая перемещение величиной $S(t)$.

Принимая, что сумма длин l_1 и l_2 равна l , с учетом заданной

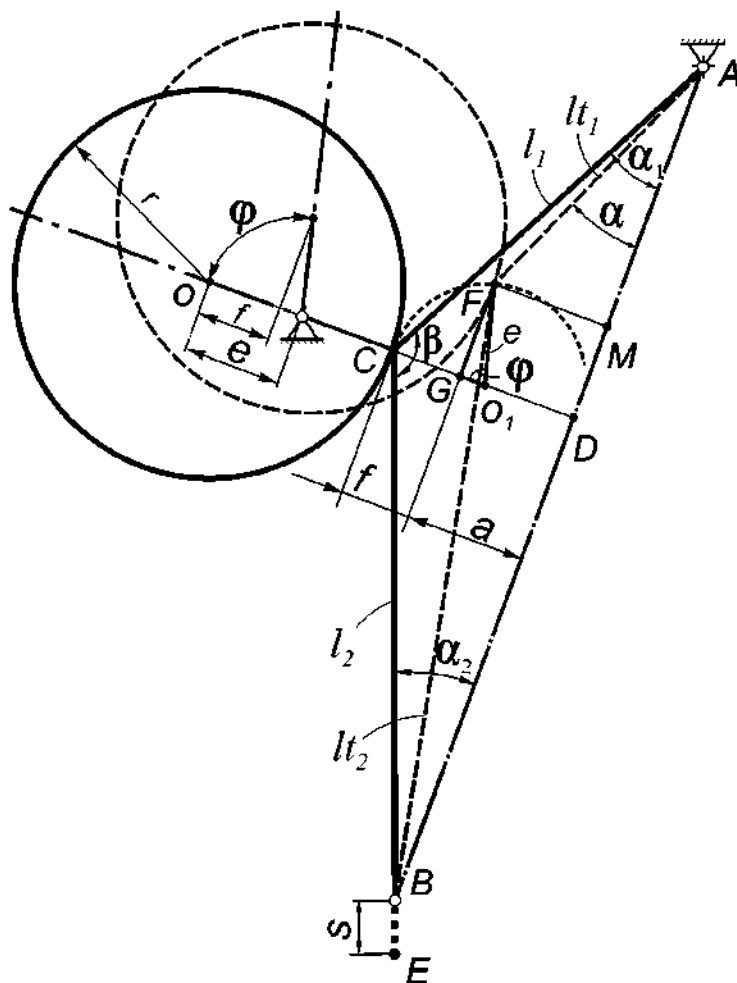


Рис. 2 – Универсальная кинематическая схема устройства для возбуждения колебаний торца ленточного электрода

скорости подачи ленточного электрода V_{ne} , можно с достаточной точностью получить простое выражение для определения перемещения торца электрода:

$$S(t) = l - (lt_1 + lt_2) + V_{ne} \cdot t. \quad (1)$$

Представим зависимость для изменения прогиба электрода от вращения эксцентрика с эксцентриситетом e в виде $f(t) = e(1 - \cos(\omega t))$. Тогда, определив на основе геометрических соображений величины lt_1 и lt_2 как функции времени, выражение (1) можно записать в виде

$$S(t) = l - \left[\frac{\sqrt{(l_1 \cos(\alpha_1) - e \sin(\omega t))^2 + (l_1 \sin(\alpha_1) - e(1 - \cos(\omega t)))^2} + \sqrt{(\sqrt{l_2^2 - (l_1 \sin(\alpha_1))^2 + e \sin(\omega t))^2 + (l_1 \sin(\alpha_1) - e(1 - \cos(\omega t)))^2}} \right] + V_{ne} \cdot t. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет рассчитать необходимые параметры возвратно-поступательного движения торца ленточного электрода в процессе его плавления. Конечной целью расчетов является определение суммарного вектора сил, действующих на каплю расплавленного электрода, находящуюся на его торце.

Дифференцированием выражения (2) найдем зависимости скорости и ускорения движения торца электрода в процессе наплавки. С учетом заданной величины скорости подачи ленточного электрода (V_{ne}), уравнения для скорости и ускорения могут быть представлены в виде:

$$V(t) = \frac{2we \sin(\omega t)(a_1 + e(\cos(\omega t) - 1)) - 2we \cos(\omega t)(e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2})}{2\sqrt{(e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2})^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2}} - \frac{2we \cos(\omega t)(e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1)) - 2we \sin(\omega t)(a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))}{2\sqrt{(e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1))^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2}} + V_{ne} \quad (3)$$

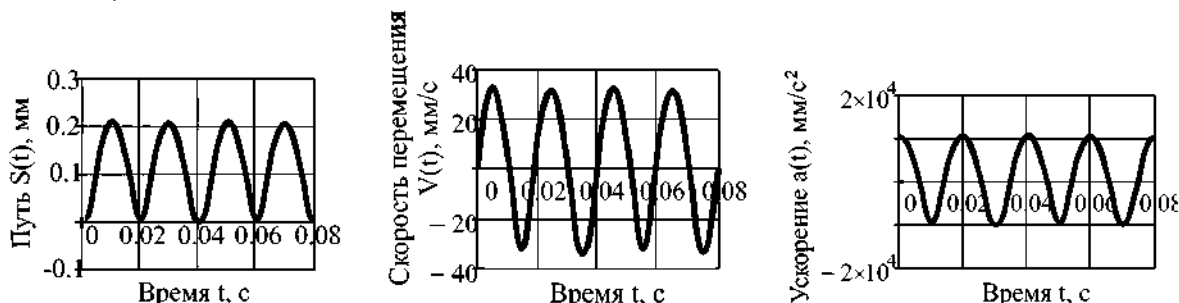
$$a(t) = \frac{(2we \sin(\omega t)(a_1 + e(\cos(\omega t) - 1)) - 2we \cos(\omega t)(e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2}))^2}{4((e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2})^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{2w^2 e^2 \cos(\omega t)^2 + 2w^2 e^2 \sin(\omega t)^2 - 2w^2 e \cos(\omega t)(a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))}{2\sqrt{(e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1))^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2}} + \frac{2w^2 e \sin(\omega t)(e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1))}{2\sqrt{(e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1))^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2}} + \frac{(2we \cos(\omega t)(e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1)) - 2we \sin(\omega t)(a_1 + e(\cos(\omega t) - 1)))^2}{4((e \sin(\omega t) - l_1 \cos(\alpha_1))^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{2w^2 e^2 \cos(\omega t)^2 + 2w^2 e^2 \sin(\omega t)^2 - 2w^2 e \cos(\omega t)(a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))}{2\sqrt{(e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2})^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2}} + \frac{2w^2 e \sin(\omega t)(e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2})}{2\sqrt{(e \sin(\omega t) + \sqrt{l_2^2 - a_1^2})^2 + (a_1 + e(\cos(\omega t) - 1))^2}} \quad (4)$$

Анализ формул (2-4) показывает, что все кинематические величины, характеризующие движение торца ленточного электрода являются многопараметрическими зависимостями, определяемыми как конструктивными соотношениями размеров устройства, так и скоростью вращения возбудителя колебаний.

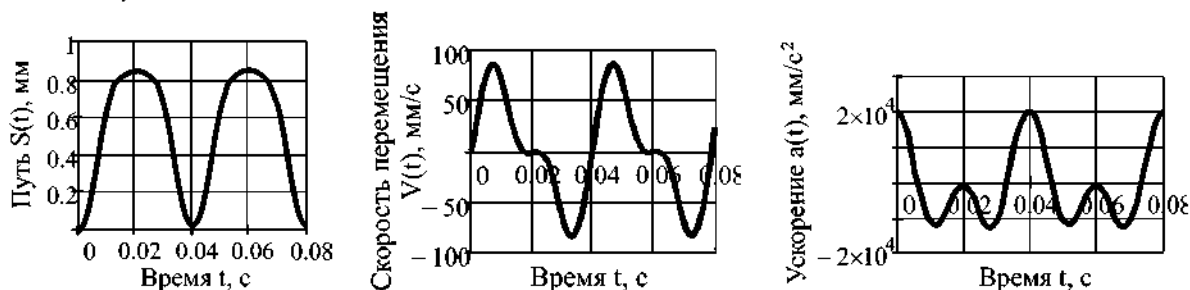
На рисунке 3 приведены некоторые результаты расчета по аналитическим формулам (2-4) в виде графиков при следующих исходных данных: длины плеч $l_1 = l_2 = 30$ мм; эксцентриситет

$e = 2,5$ мм, скорость вращения эксцентрика $n = 1500$ об/мин. Рассчитывались следующие характеристики движения торца электрода (без учета постоянной составляющей скорости подачи ленты): перемещение электрода $S(t)$, мм; скорость движения торца $V(t)$ мм/с; ускорение движения $a(t)$, мм/с². Переменными параметрами были: угол изгиба электрода β и время t .

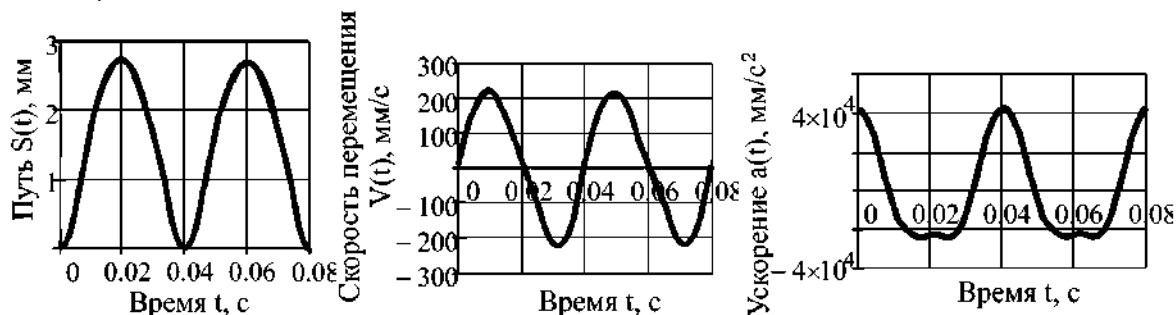
$\gamma = 10^\circ; \beta = 170^\circ$.



$\gamma = 20^\circ; \beta = 160^\circ$.



$\gamma = 40^\circ; \beta = 140^\circ$.



а

б

в

Рис. 3 – Изменение основных параметров колебательного процесса торца ленточного электрода в зависимости от времени при различных углах изгиба электрода: а – перемещение торца электрода; б – скорость перемещения; в – ускорение движения

Из рисунка 3 видно, что при изменении угла изгиба β изменяются не только числовые характеристики процесса колебания, но и характер кривых. Так, например, при угле $\beta = 170^\circ$ частота колебаний торца ленты будет в два раза больше по сравнению с частотой при других величинах угла, что объясняется особенностями кинематики предлагаемого устройства.

Известно, что при дуговой сварке (наплавке) на каплю расплавленного металла действует система сил: \vec{F}_{ct} – сила тяжести, Н; \vec{F}_{ed} – электродинамическая сила, Н; \vec{F}_{pn} – сила поверхностного натяжения, Н; \vec{F}_r – сила реактивного давления паров газов, Н.

При воздействии механических колебаний на торец ленточного электрода появляется новая инерционная сила $\vec{F}_{cn}(t)$, Н, действующая на каплю электродного металла, которая при

наплавке под флюсом ленточним електродом, залежить від маси краплі m_k і прискорення руху торця електрода, змінюючогося в процесі наплавки

$$\vec{F}_{cu}(t) = m_k \cdot \vec{a}(t). \quad (5)$$

Середня швидкість плавлення ленточного електрода по всій ширині буде рівна швидкості подачі електрода. Тоді за одну секунду довжина розплавленого участка ленти може бути визначена по залежності $\Delta l = V_{ne} \cdot t$, м, а маса розплавленого металу буде залежати від поперечного сечення електрода A_e і густоти його матеріалу ρ : - $m_e = \Delta l A_e \rho$, кг.

Для отримання стабільного процесу переносу розплавленого металу в зварочну ванну необхідно вибрати такі параметри коливаючогося процесу, щоб при заданих режимах наплавки забезпечувалася зброс крапель електродного металу за кожен цикл коливання. Тоді маса збрасуваної краплі буде визначатися в залежності від вибраної кінематическої схеми збудження коливань кінця ленти (см. рис. 1), розмірних конструктивних параметрів пристрою і швидкості обертання збудителя коливань: $m_k = m_e / n_c$ (n_c - швидкість обертання ексцентрика, об/с). Очевидно, що при аналізі ефективності цих або інших параметрів управління процесом масопереносу електродного матеріалу розглядаваного тут пристрою, найбільший інтерес викликає отримання максимального прискорення руху торця електрода і, відповідно, максимальної сили відриву краплі.

Проектуючи рівнодійствующую всіх сил, прикладених до краплі, на вертикальну вісь (при наплавці в нижньому положенні), можна оцінити її розрахункове значення для двох варіантів наплавки: з урахуванням діяння примусового механічного переносу (R_{yu}) і без нього (R_v). Тоді, ефективність якого-небудь параметра управління процесом масопереносу електродного матеріалу, можна оцінити коефіцієнтом збільшення сили відриву за рахунок діяння інерційної сили

$$K(t) = \frac{\bar{R}_{yu}(t)}{\bar{R}_v(t)} > 1. \quad (6)$$

Не розглядаючи тут множину варіантів поєднання різних параметрів управління процесом масопереносу з допомогою запропонованого пристрою, приведемо результати розрахунку максимального значення коефіцієнта K в залежності від трьох основних параметрів (рис. 4): кута повороту верхніх напрямлюючих γ , величини ексцентриситету e і швидкості обертання ексцентрика n .

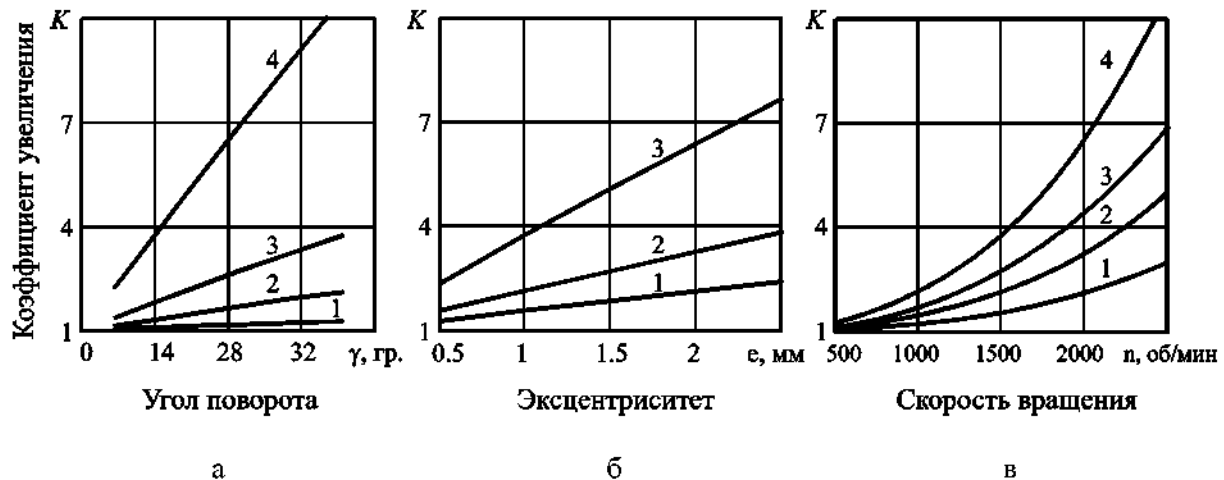


Рис. 4 – Залежність коефіцієнта збільшення сили відриву краплі від різних параметрів (параметри см. в тексті)

Розрахунки проводилися при наступних параметрах: $a - l_1 = l_2 = 30$ мм; $e = 1,0$ мм; $n = 500$,

1000, 1500, 2500 об/мин., графики 1, 2, 3, 4 соответственно; $b - l_1 = l_2 = 30$ мм; $n = 1500$ об/мин., $\gamma = 10, 20, 50^\circ$, графики 1, 2, 3 соответственно; $v - l_1 = l_2 = 30$ мм; $e = 1,0$ мм; $\gamma = 10, 20, 30, 50^\circ$, графики 1, 2, 3, 4 соответственно.

Как видно из графиков на рис. 4, посредством регулирования размерных конструктивных параметров предложенного устройства и скорости вращения возбуждителя колебаний, можно получить многократное увеличение силы отрыва капель расплавленного электрода по сравнению с обычными устройствами подачи ленты. За счет этого достигается контролируемая регулярность перехода капель жидкого металла в сварочную ванну, повышение качества наплавленного металла и уменьшение вероятности и появления дефектов типа несплавлений. На основании полученных расчетных результатов можно говорить о целесообразности применения разработанного устройства для наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительными механическими колебаниями его торца.

Выводы:

1. Рассмотрены и исследованы варианты кинематических схем устройств принудительного механического переноса. Доказано, что наиболее эффективное управление переносом электродного металла обеспечивает предлагаемая конструкция на основе универсальной схемы, позволяющая использовать в качестве управляющих параметров угол изгиба ленточного электрода $120-140^\circ$, размер эксцентриситета $0,5-1,5$ мм и частоту вращения эксцентрика $40-60$ Гц.
2. На основе математического анализа импульсного переноса разработаны основные закономерности процесса плавления ленточного электрода при использовании механического принудительного переноса, проанализировано влияние параметров устройства подачи электрода на процесс формирования наплавленного слоя. Предложена методика расчета кинематических параметров механического управляемого переноса при наплавке ленточным электродом под слоем флюса.

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.
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. Патент 24440 Украина. МПК В23К 9/12 Спосіб дугового зварювання електродом, що плавиться. Б.И. Носовский, М.Б. Носовский; ПГТУ – № u 1997 97041923; Заявл. 22.04.97; Оpubл. 30.10.98, Бюл. №5.
4. Патент 44885 Украина. МПК В23К 9/12 Спосіб широкошарового наплавлення під флюсом стрічковим електродом. Е.В. Лаврова, Б.И. Носовский; ПГТУ – № u 2008 10823; Заявл. 01.09.2008; Оpubл. 26.10.2009, Бюл. №20.
5. Носовский Б.И. Разработка методики выбора параметров наплавки ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла / Б.И. Носовский, Е.В. Лаврова // Автоматическая сварка. – 2011. – № 3. – С. 30-33.

Bibliography:

1. Paton B.E. Analysis of the technical and technological capabilities of pulsed wire feed in the process of arc welding and surfacing / B.E. Paton, V.A. Lebedev // Welding production. – 2002. – №2. – С. 24-31. (Rus.)
2. Lebedev V.A. Mechanisms of pulsed wire feed control with pulse parameters / V.A. Lebedev, V.G. Pichac // Automatic welding. – 2001. – №5. – С. 31-37. (Rus.)
3. Patent 24440 Ukraine. By the MPK V 23K 9/12 Method of arc welding electrode melts. B.I.Nosovskiy, M.B. Nosovskiy; PGTU – № u 1997 97041923; Zayavl. 22.04.97; Opubl. 30.10.98, Byul. №5. (Ukr.)
4. Patent 44885 Ukraine. By the MPK V23K 9/12 Method of wide deposition with the submerged arc strip electrode. E.V. Lavrova, B.I. Nosovskiy; PGTU - № u 2008 10823; Zayavl. 01.09.2008;

Оpubl. 26.10.2009, Вуul. № 20. (Ukr.)

5. Nosovskiy B.I. Developing of methods of deposition parameters choice by a strip electrode with the forced mechanical transfer of liquid metal / B.I. Nosovskiy, E.V. Lavrova // Automatic welding. – 2011. – № 3. – P. 30-33. (Rus.)

Рецензент: А.Д. Размышляев
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 11.09.2012