

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-503.55

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-11-21

Владимир Лебедев, Сергей Новиков

КОЛЕБАТЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Актуальность темы исследования. Дуговая наплавка с применением низкочастотных механических колебаний сварочной ванны является простым и эффективным технологическим решением для существенного повышения технологической прочности наплаваемого металла. Создание установки с простой и точной системой обеспечения таких колебаний является ключевой задачей в проведении качественных исследований.

Постановка проблемы. Для создания установки необходимо провести серию расчётов, позволяющих выбрать основные узлы обеспечения колебаний с заданными характеристиками, ввода параметров и управления процессом колебания.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее применяемыми технологическими приёмами влияния на показатель технологической прочности является механическое и/или тепловое влияние на сварочную ванну или сварочный инструмент. В последнее время широко применимы такие методы, как периодическое воздействие магнитного поля на расплав сварочной ванны, импульсные режимы наплавки на базе аддитивных алгоритмов управления работой оборудования, применение ультразвука и дополнительного легирования наплаваемого металла, а также комбинированные методы.

Выделение неисследованных частей общей проблемы. Большинство работ посвящено исследованию периодического воздействия на расплав сварочной ванны с частотами, существенно превышающими 10 Гц, в то время как влияние колебаний диапазона низких частот почти не исследован.

Постановка задачи. Провести анализ факторов, влияющих на работу установки по обеспечению продольных механических гармонических колебаний сварочной ванны частотой до 5 Гц и амплитудой до 7 мм. На основе данного анализа разработать методику определения крутящего момента и осуществить выбор электродвигателя.

Изложение основного материала. При заданной частоте колебания подвижного стола с закреплённой деталью определяется момент на валу электродвигателя с учётом статической и динамической составляющих для максимального веса наплаваемого изделия и его смещения относительно направления наплавки. Задаваясь углом поворота изделия, что определяется желаемой величиной ширины наплавленного валика, определяется полное время (период) колебательного движения. На основании полученных результатов осуществляется выбор типа и модели электродвигателя.

Выводы в соответствии со статьёй. Расчёт и конструирование устройства для получения регулируемых колебаний наплаваемого или свариваемого изделия должен базироваться на определении нескольких составляющих, основные из которых: статическая и динамическая составляющие момента, прикладываемого к двигателю, при этом необходимо при выполнении наплавленного слоя учитывать возможность смещения изделия относительно оси колебаний, если это невозможно выполнить смещением сварочного инструмента. Наиболее перспективными для применения являются высокомоментные безредукторные электродвигатели (шаговые и вентильные) с компьютеризованными системами управления и регулирования. Именно такие электродвигатели позволяют получить достаточно высокую регулируемую частоту колебаний. Разработанная установка, её эффективная работа и полученные результаты могут быть прототипом для промышленного изготовления и применения при высококачественной и производственной сварке-наплавке металлоконструкций небольших габаритов.

Ключевые слова: дуговая наплавка; колебания изделия; выбор электропривода; качество наплавленного слоя; управление.

Рис.: 5. Библ.: 12.

Актуальность темы исследования. Дуговая наплавка узлов и деталей с целью их восстановления или придания им необходимых механических свойств (износостойкость, прочность и др.) является эффективным способом повышения надёжности и работоспособности узлов и деталей машин и механизмов различного назначения [1].

Постановка проблемы. Потребность в восстанавливающей, защитной и упрочняющей наплавке достаточно велика и это вызывает проблему повышения её эффективности, а решение этой проблемы определяется различными направлениями, в том числе разработкой новых наплавочных материалов и способов их применения.

Анализ последних исследований и публикаций. Введение новых действенных способов повышения эффективности процесса наплавки, как правило, связано с модернизацией или разработкой новых видов механизированного или автоматического наплавочного оборудования, которое может ввести в технологию наплавки, например, такие

возможности, как регулируемая модуляция режимов дугового, импульсные режимы работы систем полуавтоматов, станков и автоматов, определённые алгоритмы перемещения сварочно-наплавочного инструмента [2]. Дает определённые эффекты применение дополнительных порошков паст и жидкостей с механизмами их ввода [3].

Одним из эффективных способов влияния на процесс автоматической наплавки является способ с колебаниями наплавляемого изделия с регулируемыми параметрами, суть которого изложена в работе [4]. Следует отметить, что этот способ оказывает комбинированное влияние на результаты наплавки, в том числе существенное повышение производительности из-за расширения наплавляемого валика, улучшение структуры металла шва вследствие уменьшения роста столбчатых кристаллов и др.

Получить колебания необходимой формы, частоты и амплитуды оказалось возможным, создав специализированную установку.

Целью работы является кинематическое описание установки для наплавки с колебаниями изделия с выбором оптимальной конструкции электропривода, анализа работы системы и получаемых результатов.

Изложение основного материала. На рис. 1 представлен разработанная установка для дуговой наплавки с колебаниями изделия. Механизм колебаний установки совершает гармонические (синусоидальные) колебания в направлении перпендикулярном направлению ведения наплавочного процесса с управляемой по частоте и углу поворота. Некоторые примеры возможностей сравнительных технологий наплавки с колебаниями и без колебаний изделия представлены на рис. 2 и 3 в виде наплавленных валиков и его микроструктуры соответственно. Наплавка производилась механизмом подачи полуавтомата ПШ107В электродной проволоки Св08Г2С диаметром 1,2 мм на токах 170...200 А. Использовался источник сварочного тока типа ВДУ506.

Из рассмотрения сравнительных результатов наплавки следует, что при всех прочих равных условиях при использовании колебательных режимов работы установки, как отмечалось выше, существенно увеличивается ширина наплавленного валика, а это повышение производительности наплавки, а также изменение в структуре металла шва, в частности, относящимся к кристаллической структуре, что ведёт к повышению прочности и износостойкости наплавленной поверхности.

Опираясь на имеющиеся исследования, касающиеся колебаний изделий, т.е. сварочной ванны, например [5; 6], можно отметить, что для решения комплекса задач технологии сварки – наплавки с колебаниями важным явля-

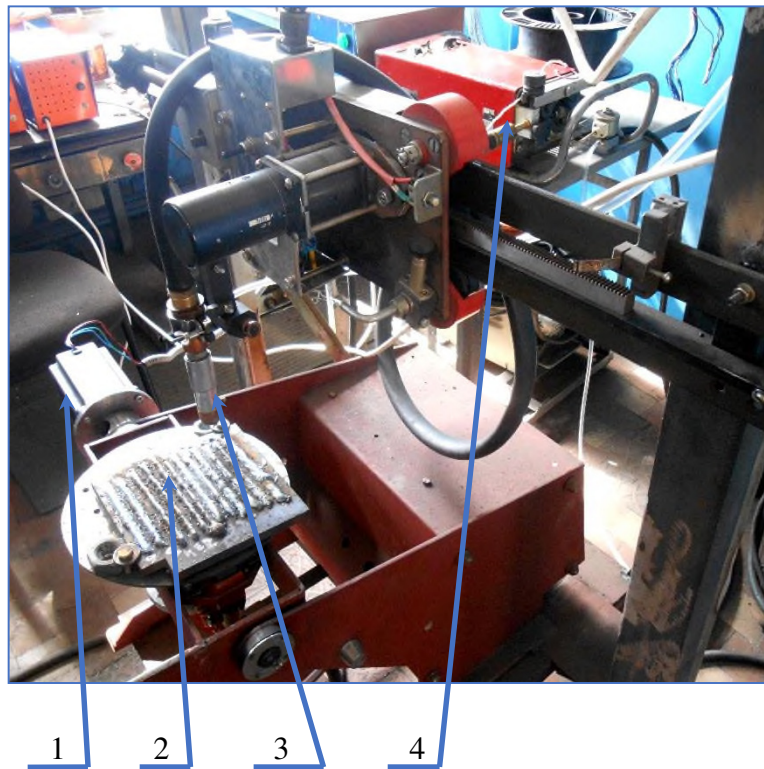


Рис. 1. Установка для наплавки с колебаниями:

1 – привод колебателя; 2 – наплавляемое изделие;

3 – сварочная горелка;

4 – компьютеризованная система управления

ется возможность генерирования колебаний с достаточно широким диапазоном частот и амплитуд, и это позволяет сформулировать основные требования к механизму колебаний установки:

- оснащение приводным электродвигателем с системой управления и регулирования с высокими показателями момента и минимально возможными инерционными характеристиками;

- возможность применения электродвигателей без промежуточного редуктора и других промежуточных элементов, влияющих на инерционность системы;

- надёжность при работе с высокой частотой реверсивного движения и воспроизводства заданного алгоритма колебаний.

Исходя из требований к электродвигателю, наиболее подходящими по техническим характеристикам являются безколлекторные вентильные и шаговые электродвигатели с высокими значениями крутящего момента.

В рамках данной работы были испытаны несколько конструкций указанных электродвигателей. При этом из числа шаговых электродвигателей. Необходимо определить силовые и частотные характеристики выбираемого электродвигателя.

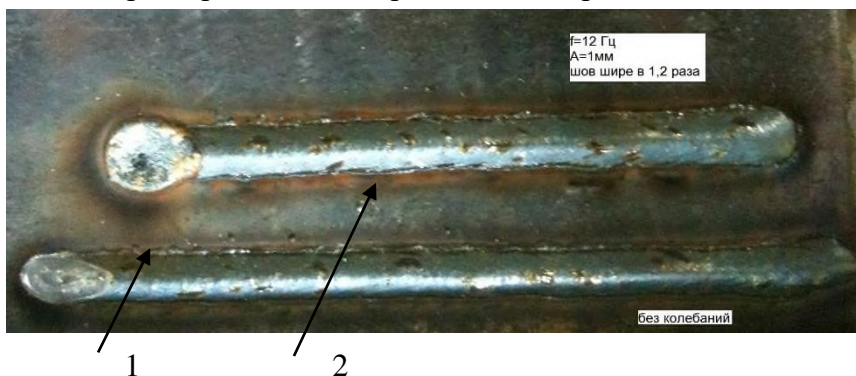


Рис. 2. Результаты сравнительной наплавки:

1 – без колебаний; 2 – с колебаниями

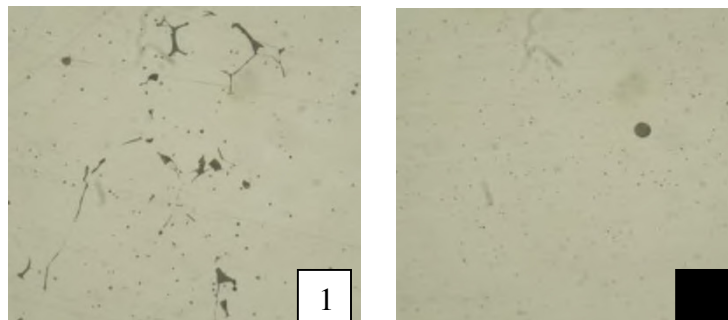


Рис. 3. Микроструктуры наплавленного металла:

1 – при наплавке обычным способом; 2 – с управляемыми колебаниями наплавленного изделия

На рис. 4 представлены кинематические схемы механизма колебаний в различных фазах цикла движений.

Обозначения по рисунку:

l_{ϵ} $l_{\epsilon 1}$ – вылет электродной проволоки в исходном состоянии и в изменённом состоянии поворота соответственно;

l_u l_{u1} – толщина наплаваемого изделия;

l_p l_{p1} – величина рычага колебания в исходном состоянии и в изменённом состоянии поворота соответственно;

l_c, l_{c1} – сдвиг зоны наплавки в исходном состоянии и в изменённом состоянии поворота соответственно;

α – угол поворота наплавляемого изделия;

Δl_e – изменение вылета при повороте изделия.

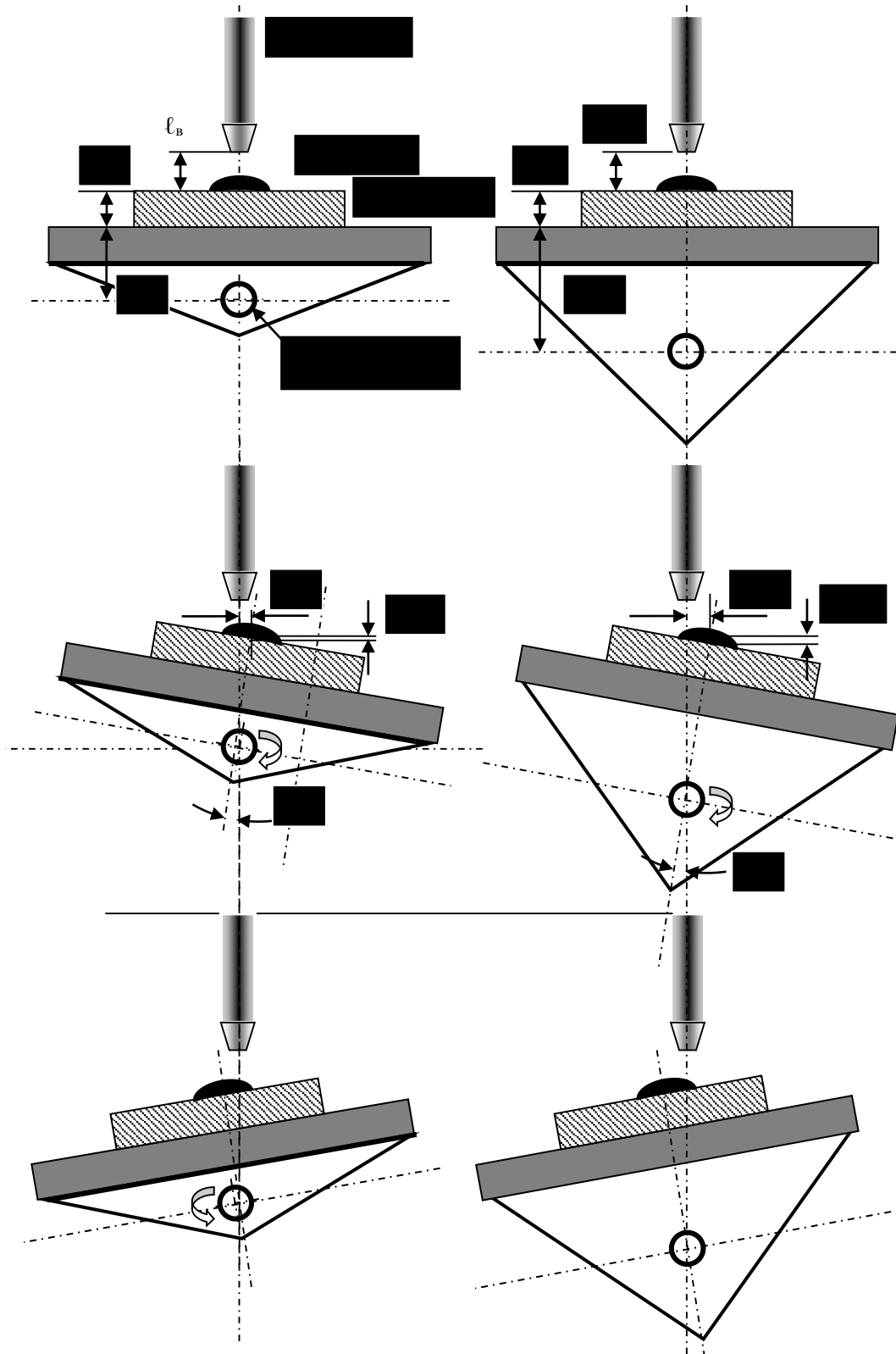


Рис. 4. Фазы цикла колебаний изделия

В механизме колебаний сделано дополнительное регулирование величины рычага колебаний для снижения угла отклонения, что обеспечивает возможность увеличения частоты колебаний.

Вначале определим важные параметры для формирования наплавленного валика – увеличение ширины наплавленного валика или сдвиг места горения дуги, а также изменения в величине вылета электродной проволоки при возвратных колебаниях наплавливаемого изделия.

Из геометрических построений на рис. 4 определяются:

$$l_c = (l_p + l_u) \sin \alpha ; \tag{1}$$

$$\Delta l_\epsilon = (l_p + l_u) (1 - \cos \alpha) . \tag{2}$$

Из рассмотрения выражений (1), (2) следует важный вывод, всегда выполняется соотношение:

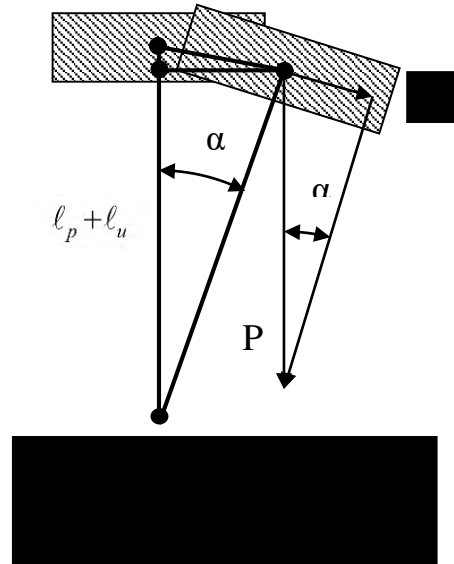
$$\Delta l_\epsilon \gg l_\epsilon . \tag{3}$$

Для выбора приводного электродвигателя необходимо определить момент на его валу. На рис. 5 представлена схема разложения сил при выполнении колебательных движений с наплавливаемой деталью весом P и рычагом $l_p + l_u$.

Определим усилие F , определяющего переменный момент в виде:

$$F = P \sin \alpha . \tag{4}$$

Рассмотрим вариант работы механизма колебаний с синусоидальным характером симметричных колебаний и массой изделия, равномерно и одинаково размещенной относительно оси колебаний. В этом случае статический момент нагрузки содержит активную составляющую M_a и зависит от угла поворота вала приводного двигателя α . Кроме того, в статическом моменте электропривода присутствует постоянная M_n составляющая, которая зависит от трения в опорах колебателя и механических потерь в самом электродвигателе. При этом можно записать выражения определения крутящего момента на валу приводного электродвигателя M для различных направлений цикла колебаний с постоянной угловой скоростью ω для текущего времени t без учёта периодов разгона и торможения системы:



1) при движении от центра колебаний $M_1 = M_n - M_a \sin \omega t$ или с учётом выражения (4)

$$M_1 = M_n - (l_n + l_u) P \sin \alpha \sin \omega t . \tag{5}$$

2) при движении к центру колебаний

$$M_2 = M_n + M_a \sin \omega t$$

$$M_2 = M_n + (l_n + l_u) P \sin \alpha \sin \omega t . \tag{6}$$

Составляющая статического момента M_a представляет собой синусоидальную кривую с различной амплитудой в отрицательной и положительной полупериоды.

В реальных системах для колебаний наплавляемого изделия обычно вес части изделия относительно центра колебаний различен. При этом колебания в одну сторону отличаются от колебаний в другую на некоторую величину ΔP , ведя отсчёт от центра колебаний. При колебании в сторону, где изделие имеет больший вес нагружают приводной электродвигатель моментом:

3) при движении от центра колебаний

$$M_3 = M_n - (\ell_n + \ell_u)(P + \Delta P) \sin \alpha \sin \omega t ; \quad (7)$$

4) при движении к центру колебаний

$$M_4 = M_n + (\ell_n + \ell_u)(P + \Delta P) \sin \alpha \sin \omega t . \quad (8)$$

Для механизма колебаний, разрабатываемого с вышеуказанными задачами, важнейшим показателем является реализуемая регулируемая частота колебаний, которая в основном зависит от всех сил и моментов, действующих в переходные моменты.

На основании [7] запишем уравнение движения системы механизм колебаний – приводной электродвигатель с учётом различных значений моментов M_1, M_2, M_3, M_4 на различных этапах колебания изделий:

$$M_\partial - M_{1,2,3,4} = J \frac{d\omega}{dt} . \quad (9)$$

где M_∂ – динамический момент системы с учётом электромагнитного момента приводного электродвигателя; J – момент инерции системы.

Можно заметить, что согласно уравнению (9) электромагнитный момент на валу электродвигателя уравнивается статическим и инерционным динамическим моментами.

Далее имеет смысл рассматривать только вариант наиболее нагруженного варианта электропривода со статическим моментом по уравнению (8). Следует отметить, что значение статического момента определяется весом изделия и платформы, потерями в узлах качания и в самом электродвигателе. И если вес колеблющихся изделий можно определить достаточно просто, то другие потери определяются в большинстве случаев экспериментально, равно как и момент инерции системы по методикам, которые изложены в технической литературе, например в [8], и ряде других.

Можно отметить, что привод механического колебателя изделия при работе практически всегда находится в режиме переходного процесса, при этом время разгона электродвигателя зависит от инерционных свойств системы и от выбранной системы регулирования электропривода, а время торможения определяется системой торможения системы регулирования. Исходя из указанного и уравнения (8) уточним, что момент на валу электродвигателя зависит от угловой скорости ω :

$$M = f(\omega) . \quad (10)$$

При этом необходимо уточнить зависимости (10) для приводного электродвигателя и механизма колебаний. Учитывая, что будут использоваться шаговые и вентильные электродвигатели – можно положить, что их механические характеристики будут иметь линейный характер. Механические характеристики механизма колебаний пропорциональны синусоидальной зависимости (8), однако в рассматриваемой системе, углы отклонений (поворота) изделия от вертикали относительно небольшие $\alpha = 10 \dots 20^\circ$, что даёт возможность рассматривать, с достаточной для выбора электродвигателя точностью, механические характеристики как линейные. При этом важной частью в выборе электродвигателя и системы его регулирования является определение времени разгона системы электродвигатель – механизм колебаний.

Учитывая вышеуказанное, можно для угловой скорости записать следующее линейное дифференциальное уравнение с правой частью:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{T_m} = \frac{\omega_y}{T_m}, \quad (11)$$

где T_m – электромеханическая постоянная времени; ω_y – установившаяся после отработки переходного процесса угловая частота вращения вала электродвигателя или колебательного движения изделия.

Определение T_m с учётом принимаемого постоянства $M_n = const$ и приравниванием шаговых и вентильных электродвигателей к коллекторным электродвигателям может быть представлено в следующем виде:

$$T_m = J \frac{R_a}{(k\Phi)^2}, \quad (12)$$

где k и Φ – конструктивные характеристики электродвигателя.

Достаточно сложно рассчитать параметр T_m , поэтому его проще получить экспериментальным путём, используя известные методики, например [9].

Решением уравнения (11) с учётом нулевой начальной частоты вращения будет уравнение экспоненты в виде

$$\omega = \omega_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (13)$$

Логарифмируя уравнение (13) и преобразовывая его, получим значение времени t необходимое для разгона электродвигателя до угловой скорости ω_y :

$$t = T_m \ln\left(1 - \frac{\omega}{\omega_y}\right). \quad (14)$$

Учитывая выражение (1), а также небольшие значения угла колебаний (поворота) изделий α можно заменить дугу качания прямой линией ℓ_c . В этом случае, рассматривая движение изделия как практически прямолинейное, определим для этого случая среднюю скорость перемещения V_{cp} в виде:

$$v_{cp} = \frac{(\ell_p + \ell_u) \sin \alpha}{t_u}, \quad (15)$$

где t_u – полное время колебательного движения изделия.

Средняя угловая скорость перемещения изделия ω_{cp} определяется

$$\omega_{cp} = 2 \frac{\alpha}{t_u}. \quad (16)$$

Путь s_p , пройденный механизмом колебаний за время разгона привода с учётом постоянства динамического момента $M_d = const$ и начала движения после полной остановки согласно [7] можно определить в виде:

$$s_p = \frac{M_\delta t^2}{2J}. \quad (17)$$

Заметим, что путь, пройденный при разгоне, учитывает инерционные и силовые характеристики колебательной системы.

Путь s , пройденный изделием при движении от крайнего до вертикального, при $\frac{\alpha}{2}$ составляет:

$$s = s_n + s_p, \quad (18)$$

где s_n – путь колебательного процесса изделия при равномерном движении.

Укажем, что, стремясь достичь максимального быстродействия колебательной системы, т.е. получить максимальную частоту колебаний изделия, а следовательно, ванны жидкого металла, следует выполнить условие:

$$s \leq s_p, \quad (19)$$

т.е. практически исключить равномерное движение как менее эффективное. Кроме этого, необходимо стремиться получить одинаковый эффект наплавки в различных фазах колебательного движения.

Стремление поучить максимально возможную частоту колебаний ванны вызвано неопределённостью выводов ряда авторов [10; 11] относительно целесообразности выбора этого параметра для получения максимального технологического эффекта. В нашем случае получение максимально возможной регулируемой частоты колебаний вызвано конструированием исследовательской установки, использование которой и определит эффективные характеристики системы колебаний, при выбранных по указанным параметрам технических возможностях системы.

В настоящее время для систем колебаний изделия в сварочном производстве наиболее целесообразными, исходя из нашего опыта применения [12], являются высокомоментные электроприводы с упомянутыми выше шаговыми или вентильными электроприводами с современными системами управления и регулирования на основе микропроцессорной техники как с обратными связями по частоте вращения вала, так и более простые – без введения обратных связей.

Отметим, что торможение системы колебаний осуществляется эффективными электрическими способами, которые в современных электроприводах являются неотъемлемым элементом алгоритма управления современных электроприводов и в настоящей работе не рассматриваются и не учитываются.

Опираясь на вышеприведенные выводы, можно предложить следующий порядок выбора электропривода с учётом того, что обычно, исходя из работ, касающихся процесса наплавки для механизмов колебаний, задают необходимую для процесса частоту колебаний f :

- определяется момент на валу электродвигателя с учётом статической и динамической составляющих для максимального веса наплавляемого изделия и его смещения относительно направления наплавки;

- далее необходимо задать угол поворота изделия $\frac{\alpha}{2}$, что, в итоге, определяет ширину наплавленного валика, а также производительность дугового процесса, при этом половина пути колебательного движения, соответствующая $\frac{\alpha}{2}$ определяется условием (19);

- определяется полное время (период) колебательного движения исходя из уравнения (17) и с учётом (19):

$$t = 2 \sqrt{\frac{2J_{sp}}{M_0}}, \quad (20)$$

где $f = \frac{1}{t}$.

На основании вышеприведенного алгоритма для экспериментальной установки был выбран шаговый 2-фазный электродвигатель KINCO 2S86Q-051F6 с максимальным крутящим моментом 8,4 Н·м с драйвером KINCO 2M880N на базе контролёра KINCO – K306 – 24АТ. Такой комплект обеспечил колебательный режим работы установки с управляемой частотой колебаний наплавляемого изделия массой 10...12 кг до 2,5...10 Гц.

Выбранный электродвигатель, система управления которого была запрограммирована на решение вышерассмотренной задачи при наплавке со скоростью 12 м/час для восстанавливающего-упрочняющего слоя электродной самозащитой проволокой на поверхность матрицы штампового инструмента массой 10...15 кг с углом колебаний порядка $\frac{\alpha}{2} = 12^\circ$ обеспечило создание сплошного слоя наплавленного металла с достижением основных эффектов и сравнением с обычными технологиями наплавки:

- расширение наплавленного валика, представленное на фотографии (рис. 2);
- улучшение структуры наплавленного металла в части измельчения кристаллов и влиянием (улучшением) эксплуатационных свойств, показанное на фотографиях (рис. 3). Важнейшей характеристикой наплавленного слоя является его твёрдость. При этом, применяя способ наплавки с управляемыми колебаниями можно существенно повысить твёрдость наплавленного слоя, что показано в работе [12].

В процессе выполнения экспериментальных работ по наплавке с колебаниями изделия было испытано применение вентильного электропривода с положительными результатами.

Рассмотренное устройство – колебатель изделия может быть использовано для сварки металлоконструкций преимущественно в стык с разделкой, в частности, когда зазор между свариваемыми элементами не имеют гарантированного зазора.

Выводы в соответствии со статьёй.

1. Расчёт и конструирование устройства для получения регулируемых колебаний наплавляемого или свариваемого изделия должен базироваться на определении нескольких составляющих, основные из которых: статическая и динамическая составляющие момента, прилагаемого к двигателю, при этом необходимо при выполнении наплавленного слоя учитывать возможность смещения изделия относительно оси колебаний, если это невозможно выполнить смещением сварочного инструмента.

2. Наиболее перспективными для применения являются высокомоментные безредукторные электродвигатели (шаговые и вентильные) с компьютеризованными системами управления и регулирования. Именно такие электродвигатели позволяют получить достаточно высокую регулируемую частоту колебаний.

3. Разработанная установка, её эффективная работа и полученные результаты могут быть прототипом для промышленного изготовления и применения при высококачественной и производительной сварке-наплавке металлоконструкций небольших габаритов.

Список использованных источников

1. Патон Б. Е. Избранные труды. Киев : Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, 2008. 896 с.
2. Лебедев В. А., Драган С. В., Жук Г. В., Новиков С. В., Симутенков И. В. Применение импульсных воздействий при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов (Обзор). *Автоматическая сварка*. 2019. № 8. С. 30–40.
3. Патон Б. Е., Савицкий М. М., Гвоздецкий В. С., Кривцун И. В., Савицкий А. М., Голдис Ю. Е., Лупан А. Ф. Применение активных флюсов и активных газов для повышения эффективности дуговой и плазменной сварки. *Автоматическая сварка*. 2003. № 5. С. 3–6.

4. Лебедев В. А., Новиков С. В. Анализ параметров управления формированием структуры шва при воздействии механических колебаний низкой частоты на расплав сварочной ванны. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2017. № 12. С. 536–541.
5. Balasubramanian Balusamy V., Kesavan D. Studies on the effect of vibration on hot cracking and grain size in AA7075 aluminum alloy welding. *International Journal of Engineering and Science and Technology (IJEST)*. 2011. Vol. 3. № 1. P. 681–686.
6. Pravin Kumar Singh, Patel D., Shashi B. Prasad. Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welding joints. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9. P. 1–6.
7. Теория электропривода. Примеры расчетов : учеб. пособие / Драчев Г. И. и др. ; под ред. Г. И. Драчева. Челябинск : ЮУрГУ, 2010. 192 с.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 560 с.
9. Лебедев В. А., Гулый М. В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки. *Мехатроника. Автоматизация, Управление*. 2014. № 6. С. 47–51.
10. Chih-Chun Hsieh, Peng-Shuen Wang, Jia-Siang Wang, Weite Wu. Evolution of microstructure and residual stress under various vibration modes in 304 stainless steel welds. *The Scientific World Journal*. Vol. 2014. Article ID 895790, 9 p.
11. Болдырев А. М. О механизме формирования структуры металла шва при введении низкочастотных колебаний в сварочную ванну. *Сварочное производство*. 1976. № 2. С. 1–3.
12. Лебедев В. А., Новиков С. В., Соломийчук Т. Г. Определение твердости наплавленного металла и металлозоны термического влияния (ЗТВ) при низкочастотных колебаниях сварочной ванны. *Нові матеріали в технології, металургії та машинобудуванні*. 2019. № 2. С. 54-61.

References

1. Paton, B. E. (2008). *Izbrannye trudy [Selected works]*. Kiev: In-t elektrosvariki im. E. O. Patona [in Russian].
2. Lebedev, V. A., Dragan, S. V., Zhuk, G. V., Novikov, S. V., Simutenkov, I. V. (2019). Primenenie impulsnykh vozdeistvii pri dugovoi svarke plaviashchimsia elektrodom v srede zashchitnykh gazov [Application of pulsed impact in consumable electrode gas – shielded arc welding (Review)]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 8, 30–40 [in Russian].
3. Paton, B. E., Savitckii, M. M., Gvozdetskiy, V. S., Krivtun, I. V., Savitckii, A. M., Goldis, Iu. E., Lupan, A. F. (2003). Primenenie aktivnykh flusov i aktivnykh gazov dlia povysheniia effektivnosti dugovoi i plazmennoi svarki [Application of active fluxes and gases for increasing in efficiency of arc and plasma welding]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 5, 3–6 [in Russian].
4. Lebedev, V. A., Novikov, S. V. (2017). Analiz parametrov upravleniia formirovaniem struktury shva pri vozdeistvii mekhanicheskikh kolebaniy nizkoi chastoty na rasplav svarochnoi vannы [Analysis of control parameters for the formation of the weld structure under the influence of mechanical vibrations of low frequency on the weld pool melt]. *Uprochniaiushchie tekhnologii i pokrytiia – Strengthening technologies and coatings*, 12, 536–541 [in Russian].
5. Balasubramanian Balusamy V., Kesavan D. (2011). Studies on the effect of vibration on hot cracking and grain size in AA7075 aluminum alloy welding. *International Journal of Engineering and Science and Technology (IJEST)*, 3 (1), 681–686 [in English].
6. Pravin Kumar Singh, Patel D., Shashi B. Prasad. (2016). Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welding joints. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (35), 1–6 [in English].
7. Drachev, G. I. (2010). *Teoriia elektroprivoda. Primery raschetov [Theory of electric drive. Examples of calculations]*. Cheliabinsk: IuUrGU [in Russian].
8. Sivukhin, D. V. (2006). *Obshchii kurs fiziki [General course of physics]*. Moscow: Fizmatlit. [in Russian].
9. Lebedev, V. A., Guly, M. V. (2014). Bystrodeistvuiushchii ventilnyi elektroprivod dlia oborudovaniia mekhanizirovannoi dugovoi svarki [The high-speed valve electric drive for the equipment of the mechanized arc welding]. *Mekhatronika. Avtomatizatsiia, Upravlenie – Mechatronics, Automation, Control*, 6, 47–51 [in Russian].

10. Chih-Chun Hsieh, Peng-Shuen Wang, Jia-Siang Wang, Weite Wu (2014). Evolution of micro-structure and residual stress under various vibration modes in 304 stainless steel welds. *The Scientific World Journal*. Article ID 895790 [in English].

11. Boldyrev, A. M. (1976). O mekhanizme formirovaniia struktury metalla shva pri vvedenii nizkochastotnykh kolebaniy v svarochnuuiu vannu [About the formation mechanism of the weld metal structure in low-frequency oscillations are introduced into the weld pool]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 2, 1–3 [in Russian].

12. Lebedev, V. A., Novykov, S. V., Solomiichuk, T. G. (2019). Opredelenie tverdosti naplavlennogo metalla i metallozony termicheskogo vliianiia (ZTV) pri nizkochastotnykh kolebaniyakh svarochnoi vanny [Determination of the hardness of the weld metal and the metal of the heat affected zone (HAZ) during low-frequency oscillations of the weld pool]. *Novi materiali v tekhnologii, metalurgii ta mashinobuduvanni – New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering*, 2, 54-61 [in Russian].

UDC 62-503.55

Volodymyr Lebediev, Sergii Novykov

VIBRATOR OF PRODUCT FOR THE AUTOMATIC ARC SURFACING

Urgency of the research. Arc surfacing with application of a low-frequency mechanical oscillations of the weld pool is an ordinary and effective technological solution for a significant increase in the technological strength of the welded metal. The creating an installation with a simple and accurate system for provide such influences is a key problem in carrying out qualitative research.

Target setting. To create the installation, it is necessary to carry out a series of calculations to select the main units of it for providing oscillations with specified characteristics, input parameters and control parameters of the oscillation process.

Actual scientific researches and issues analysis. The most used technological methods for influencing the technological strength indicator are mechanical and / or thermal effects on the weld pool or welding tool. Recently, such methods as the periodic acting of a magnetic field to a weld pool melt, pulsed surfacing modes based on additive algorithms operation control of an equipment, the using of ultrasound and additional alloying of welded metal, as well as combined methods have been widely applied.

Isolation of previously unexplored parts of a common problem. Most of the works are devoted to the study of the periodic influence on the weld pool melt with frequencies significantly exceeding 10 Hz, while the fluctuations influence of the low-frequency range has hardly been studied.

The research objective. To analyze the factors influencing the work of the installation to provide longitudinal mechanical harmonic oscillations of the weld pool with a frequency of up to 5 Hz and an amplitude of up to 7 mm. Based on the analysis, a methodic for determining torque and select an appropriate electric motor will be developed.

The statement of basic materials. For a given oscillation frequency of a movable table with a fixed sample, the moment on the motor shaft is determined taking into account the static and dynamic components for the maximum weight of the surfacing sample and its displacement relative to the direction of the surfacing process. Given the angle of rotation of movable table with a fixed sample — which is determined by the desired value of the width of the weld bead — the total time (period) of the oscillatory motion is determined. Based on the results obtained, the type and model of the electric motor are selected.

Conclusions in accordance with the study. Calculation and construction of a installation for obtaining controlled oscillations of a surfacing or welded product should be based on the determination of several components, the main of which are: static and dynamic components of the torque applied to the motor, while it is necessary taking into account a possibility of displacement of the sample relative to the axis when performing the surfacing of welded metal layer with oscillations, if it is impossible to perform the displacement of the welding tool. The most promising for use are high-torque gearless motors (stepper and valve) with computerized control and regulation systems. It is such electric motors that allow a sufficiently high adjustable oscillations frequency to be obtained. The developed installation, its effective operation and the results obtained can be a prototype for industrial production and application in high-quality and productive welding-surfacing of metal structures of small dimensions.

Keywords: arc surfacing; product vibrations; electric drive selection; quality of welded metal; control.

Fig.: 5. References: 12.

Лебедев Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры сварки, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Херсонский филиал (просп. Ушакова, 44, г. Херсон, 73022, Украина).

Lebediev Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Welding, National University of Shipbuilding named by admiral Makarov, Kherson branch (44 Ushakova Av., 73022 Kherson, Ukraine).

E-mail: valpaton@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0391-6113>

Новиков Сергей Владимирович – ведущий инженер отдела № 013 – Парофазных технологий неорганических материалов, Институт электросварки им Е. О. Патона НАНУ (ул. Володимира Антоновича, 68, г. Киев, 02000, Украина).

Novykov Sergii – Lead Engineer, Department of vapor-phase technology of inorganic materials № 013, Institute of electric welding them E. O. Paton (68 Volodymyr Antonovych Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-0987>