

УДК 621.791.927.5

doi:10.20998/2413-4295.2018.45.02

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ И СВАРОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

В. А. ЛЕБЕДЕВ

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, УКРАИНА
e-mail:valpaton@ukr.net

АННОТАЦИЯ Выполнен краткий анализ ряда известных способов и методов улучшения структуры металла наплавленного слоя для получения при дуговом процессе сварки – наплавки существенного влияния на размеры кристаллитов, их ориентацию с достижением дезориентации. Часть из этих способов сложна, а часть недостаточно эффективна в промышленном применении. В работе рассмотрен способ управления структуризацией металла, наплавленного механизированными способами с использованием колебаний изделия с регулируемыми параметрами (частота, амплитуда) с получением наплавленного слоя с улучшенными механическими характеристиками и повышением производительности процесса наплавки. Разработана и предложена для практического применения в технологической практике методика определения параметров колебаний, основанная на периодическом изменении тепловложения в металл ванны, приводящим к уменьшению разницы между температурами плавления и перегрева жидкой ванны. Адекватность методики расчёта параметров колебаний подтверждена полученными результатами. Подтверждение основано на изучении микрошлифов наплавленных валиков в сравнимых вариантах (обычный режим и режим с колебаниями изделия), на которых можно видеть изменения в размерах кристаллитов (их очевидное уменьшение) и их направленности в сторону дезориентации. Отмечается, что изменение в размерах кристаллитов, их дезориентация ведёт к существенному улучшению механических свойств наплавленного слоя или сварного шва, кроме этого, значительно (на 30...40%) повышается ширина наплавленного слоя, а это повышение производительности. При ведении наплавки с колебаниями изделия с эффективно выбранными параметрами существенно повышены характеристиками износостойчивости. Повышение прочности и износостойчивости изделия при сварке – наплавке ведёт к росту надёжности при эксплуатации, в частности, без применения специальных материалов и электродных проволок. Особо выделен способ наплавки цилиндрических деталей по винтовой линии, при этом решается задача обеспечения сплошного слоя наплавки с учётом колебаний или изделия или детали. Рассмотрена конструкция установки с механизмом управляемых по частоте и размаху (амплитуде) колебаний изделия в различных направлениях, и общим алгоритмом функционирования соответствующим рассмотренной методикой, позволяющая реализовать предложенный способ наплавки. Высокий уровень управления параметрами колебаний, быстродействия достигается при помощи применения в установке безредукторных компьютеризованных электроприводов с шаговыми электродвигателями. Рассмотренный способ наплавки с колебаниями изделий достаточно эффективен, но имеет ограничения по массе и размерам изделия.

Ключевые слова: механизированная дуговая сварка; наплавка; структуризация метала; механические колебания; параметры, выбор; управление

ANALYSIS OF PARAMETERS OF MECHANICAL CONTROLLED VIBRATIONS IN THE SYSTEMS OF MOVEMENT OF THE PRODUCT AND WELDING AUTOMATIC EQUIPMENT TOOLS FOR ELECTRIC ARC WELDING AND SURFACING

V. LEBEDEV

E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The analysis of a number of known methods and methods for improving the structure of the metal of the deposited layer was carried out to obtain, during the arc welding process - surfacing, a significant effect on the crystallite sizes, and their orientation with achievement of disorientation. Some of these methods are complex, and some are not effective enough in industrial applications. In this paper, a method for controlling the structurization of a metal deposited by mechanized methods using oscillations of a product with adjustable parameters (frequency, amplitude) with the formation of a weld layer with improved mechanical characteristics and an increase in the performance of the welding process is considered. The technique for determining vibration parameters was developed and proposed for practical use in technological practice. It is based on a periodic change in the heat input to the bath metal, leading to a reduction in the difference between the melting temperature and the overheating of the liquid bath. The adequacy of the method of calculating the parameters of oscillations is confirmed by the obtained results. The confirmation is based on the study of microscopes of the deposited rollers in comparable versions (normal mode and mode with oscillations of the product), on which one can see changes in the sizes of crystallites (their apparent decrease) and their directivity towards disorientation. It is noted that the change in the size of crystallites, their disorientation leads to a significant improvement in the mechanical properties

of the deposited layer or weld, in addition, the width of the deposited layer increases significantly (by 30 ... 40%), and this increase in productivity. When conducting surfacing with fluctuations in the product with effectively selected parameters, significantly improved wear resistance characteristics. Increasing the strength and durability of the product during welding - cladding leads to an increase in reliability during operation, in particular, without the use of special materials and electrode wires. The method of surfacing of cylindrical parts along a helical line is highlighted, while solving the problem of providing a continuous layer of surfacing taking into account vibrations or a product or part. The installation design with a mechanism controlled by the frequency and scope (amplitude) of product oscillations in various directions, and the general functioning algorithm of the corresponding considered technique, allowing implementing the proposed surfacing method, is considered. A high level of control over oscillation parameters, speed were achieved by using gearless computerized drives with a stepper motors in the installation. The considered method of surfacing with fluctuations of products is quite effective, but has limitations on the mass and dimensions of the product.

Keywords: mechanized arc welding; surfacing; metal structuring; mechanical vibrations; parameters, selection; control.

Введение

Оборудование для дуговой механизированной и автоматической сварки и наплавки постоянно совершенствуется для получения заданных свойств шва или наплавленного слоя. Направления совершенствования касаются, в основном, систем оборудования и представлены нами в работе [1], где выделен и рассмотрен способ сварки – наплавки с импульсной подачей электродной проволоки с аналитическими выводами. Основная задача, которая решается в этом случае – влияние на структуру металла ванны иными способами сварки, которые, в частности, также рассмотрена в работах [2,3].

К числу способов повышения эффективности оборудования для сварки и наплавки, с элементами управления ростом кристаллов в металле шва и наплавлениям валике, следует отнести колебания сварочной ванны (управляемый вибрационный процесс), которые являются как следствиями дугового процесса, так и следствиями принудительных колебаний ванны с применением вспомогательного оборудования [4]. Некоторый аналог таких колебаний можно получить, перемещая дугу относительно ванны жидкого металла, например, поперек направления ведения дугового процесса, что в соответствии с выводами работ [5,6] в определённой степени влияет на улучшение свойства соединения, восстановленной или упрочнённой детали, узла. Этот эффект, как нам представляется, является следствием изменения кристаллической структуры, которая подверглась термическому воздействию дуги. Очевидно, что отмеченные механические колебания дают ещё один эффект – увеличивают ширину шва или наплавленного валика. При механических колебаниях сварочного инструмента с определёнными заданными параметрами существенно изменяются тепловые характеристики металлической ванны, что ведёт к изменению роста столбчатых кристаллов, а, следовательно, эксплуатационных характеристик соединения или наплавленного слоя.

Цель работы

Целью работы является анализ подходов для выбора параметров механических колебаний, вводимых в системы сварочного оборудования для достижения цели – улучшение структуры

наплавленного металла или металла сварного шва, а также определение наиболее эффективных диапазонов частот и амплитуд относительных колебаний места нагрева.

Изложение основного материала

В работах [7,8] отмечено существенное влияние на рост столбчатых кристаллов оказывает перегрев сварочной ванны, а это явление можно уменьшить, используя колебания сварочного инструмента. Очевидно, что для решения задачи управления ростом столбчатых кристаллов необходима организация цикла сварки с влиянием на уменьшение перегрева. Со скоростью сварки всё ясно, если имеется техническая возможность и технологическая обусловленность, то скорости ведения процесса необходимо повышать.

В наших разработках [9] выведено соотношение, определяющее превышение температуры перегрева жидкой ванны над температурой плавления ΔT

$$\Delta T(h) = \frac{0,24P\eta}{2\pi\lambda} \frac{v_n}{a} \left(1 - \frac{v_n h}{2a}\right) \quad (1)$$

где h - координаты точки, где определяется температура; q_u – эффективный удельный тепловой поток; λ – коэффициент теплопроводности; a – коэффициент температуропроводности; v_n – скорость перемещения сварочного инструмента.

Выражение (1) позволяет относительно просто определить основные параметры относительных колебаний источника нагрева – движущейся дуги для решения задачи эффективного снижения роста столбчатых кристаллов как источника повышения механических свойств сварочных швов или наплавленных валиков.

Очевидно, что на процесс кристаллизации металла сварочной ванны влияет скорость перемещения сварочного инструмента (дуги), которую можно определить из уравнения (1) в следующем виде

$$v_n = \frac{a}{h} \pm \sqrt{\frac{a}{h} - \frac{h(\frac{v}{a})^2}{hq_u}} \Delta T \quad (2)$$

Величину ΔT можно принять по выводам работы [10] или определить по экспериментально данным авторов, из которых для примера можно отметить, что при наплавке в CO_2 электродной проволокой Св08Г2С на малоуглеродистую сталь Ст.3 определено $\Delta T = 230...270$ °С; при наплавке на инструментальную сталь Х12Ф1 - $\Delta T = 250...280$ °С.

Обратимся к весьма распространённой задаче наплавке тел вращения, например валов с применением автоматической наплавочной установки, где наиболее эффективно может быть применен способ наплавки с импульсными колебаниями изделия.

Расчёты, выполненные на основе выражения (2) показывают, что при наплавке стали Ст3. искомая скорость колебаний дуги или изделия относительно дуги составляет 20...23 м/ч, что близко к скорости наплавки, которая обусловлена технологическими условиями.

При выборе параметров колебаний следует также учесть скорость сварки как составляющую скоростей сварочного перемещения и скорости постоянного осевого смещения сварочной дуги для получения наплавки по винтовой линии.

Исходя из рис. 1, где представлена кинематическая картина относительного перемещения источника тепла, можно прийти к следующему соотношению

$$v_n = \sqrt{v_o^2 + v_{св}^2}, \quad (3)$$

где v_o – скорость осевого движения; $v_{св}$ - линейная скорость как результат вращения свариваемого или наплавляемого движения.

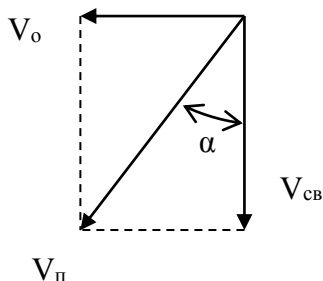


Рис. 1 – Определение реальной скорости сварочного процесса

При окончательном выборе параметров колебательного движения в обязательном порядке следует учесть сплошность наплавки или выполнение широкого шва (заполнение разделки, сварка по

широкому зазору). Здесь решающую роль играет шаг винтовой наплавки h_n , который в свою очередь определяется шириной наплавленного валика или сварного шва b . Очевидно, что, ширина наплавленного валика напрямую зависит от параметров сварочного процесса. При этом существует достаточно большое число разработок, среди которых преобладают методы с использованием моделей, выполненных на основе анализа большого числа экспериментальных данных, например [11]. Понятно, что эти методы не являются универсальными, но для большинства инженерных расчётов могут быть использованы.

В данной работе нами за основу был принят способ определения ширины слоя наплавленного металла в среде углекислого газа, представленный в работе [12] и позволяющий минимизировать количество экспериментальных данных. Метод основан на использовании комплексного параметра P , характеризующего давление дуги и удельную ширину шва b_0 в соотношениях

$$b_0 = \frac{b}{UI} 10^4. \quad (4)$$

$$P = \frac{I^2}{d_s} v_n 10^{-4} \quad (5)$$

где U, I – напряжение и ток дугового процесса соответственно; d_s – диаметр электродной проволоки.

Зависимость $b_0 = f(P)$ для широкого спектра режимов может быть получена экспериментально.

Проверка и дальнейшее развитие рассмотренного метода проводилась в рамках настоящей работы с выполнением наплавки электродной проволокой диаметром 1,2 мм в среде углекислого газа плоских поверхностей на ряде режимов.

Так как в работе мы не будем определять глубину проплавления, то можно не учитывать характер переноса электродного металла.

Экспериментально полученный ряд точек для определения зависимости $b_0 = f(P)$ представлен на рис. 2. Для упрощения дальнейших расчётов аппроксимируем зависимость на рис.2 прямой линией, используя метод выбранных точек. При этом зависимость $b_0 = f(P)$ в реальной области наиболее эффективных режимов дугового процесса может быть описана достаточно простым выражением

$$b_0 = c - \frac{c}{p} P, \quad (6)$$

где C и P – максимальное и минимальное (в рамках используемых режимов) значение функции $b_0 = f(P)$

Используя соотношения (4–6), после достаточно простых преобразований получаем выражение для определения ширины наплавленного валика в следующем виде

$$b = UIc10^{-4} \left(1 - \frac{I^2 v_n}{pd_s} 10^{-4}\right) \quad (7)$$

Проверка полученного аналитического выражения проводилась с использованием процесса в среде углекислого газа с наплавкой электродной проволокой типа Св08Г2с диаметром 1,2 мм на различных обусловленных технологией режимах. На примере покажем эффективность применения рассмотренного способа определения ширины наплавленного валика. Наплавка проводилась со скоростью $v_n = 20$ м/час, на режимах $U = 26$ В, $I = 200$ А. В соответствие с выражением (7) и использованием графика на рис.2. получили $b = 0,0062$ м.

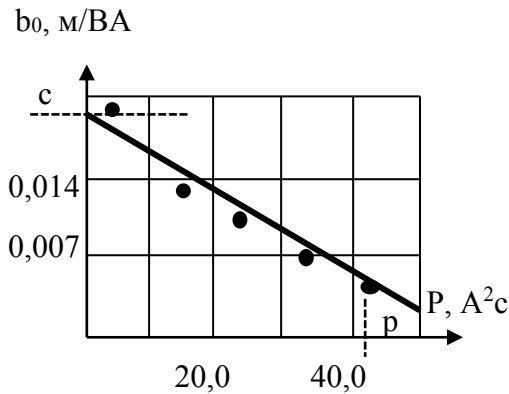


Рис.2 – Определение соотношения $b_0 = f(P)$

Из опытных наплавки выполняли несколько микрошлифов с последующим травлением. Обмер шлифов производился с использованием специальных программ с высокой степенью точностью. Результат измерения усреднялся. Так для вышеописанного режима измеренная ширина шва составила 0,0066 м. Некоторые (с достаточно небольшими отклонениями, приемлемыми для инженерных расчётов) результаты можно объяснить колебаниями режима наплавки, а также точностью аппроксимаций экспериментальных зависимостей $b_0 = f(P)$.

Имея практически все данные можно приступить к анализу как кинематики движений наплавочного оборудования так и к определению реального значения скорости перемещения источника тепла – дуги. Прежде всего, определим шаг перемещения дуги при наплавке. Очевидно, что шаг

перемещения (шаг наплавки) h_n при автоматической наплавке может быть определён в следующем виде

$$h_n = k(b + h), \quad (8)$$

где k – коэффициент перекрытия соседних наплавленных валиков; величина h определяется из выражения (1).

В соответствие с рис. 1 угол подъёма винтовой линии наплавленных валиков a определяется из соотношения

$$a = \text{arctg} \frac{h}{\pi D} \quad (9)$$

где D – диаметр наплавляемого изделия.

Исходя из вышеописанного, можно определить линейные скорости вращения изделия и осевого перемещения изделия в виде следующих выражений

$$v_o = v_n \sin \text{arc} \frac{h}{\pi D} = v_n \sin a \quad (10)$$

$$v_{ce} = v_n \cos \text{arc} \frac{h}{\pi D} = v_n \cos a \quad (11)$$

Для полного набора данных для разработки установки, которая могла бы реализовать технологию сварки и наплавки с вибрациями изделия необходимо оценить возможную частоту осевых колебаний изделия. Следует отметить, что вибрация изделия дополнительно вносит энергию упругих колебаний, которые, по нашему мнению, способствуют дезориентации кристаллической структуры металла шва.

В соответствие с работой [13] дополнительная энергия W_k может быть определена в следующем виде

$$dW_k = \frac{\omega^2 b^2 \rho dV}{2}, \quad (12)$$

где ω, b круговая частота и амплитуда упругих колебаний соответственно; ρ – плотность среды, V – объём колеблющейся массы жидкого металла.

Выражение (12) приведено для подчёркивания факта, что энергия упругих колебаний в значительной мере зависит от частоты и амплитуды колебательного движения, а также важности их аналитического определения.

Для нашего случая можно записать

$$b = \frac{h}{2} \quad (13)$$

Оценить частоту колебаний для решения задач технического обеспечения движения изделия можно, используя результаты работы [14], в которой

предложено определять скорость роста граней кристалла $V_{кр}$ в следующем виде

$$v_{кр} = \frac{\lambda}{Q_{пл} \rho_{кр}} \cdot \frac{dT}{dx} = \cos \varphi \quad (14)$$

где $\rho_{кр}$ – плотность кристалла; $\frac{dT}{dx}$ – градиент температуры; φ – угол между направлением максимального температурного градиента и нормалью к грани кристалла.

Можно уточнить, что максимальные значения скорости роста кристалла и направления максимального температурного градиента совпадают.

Если изделие колеблется с шагом h , то при этом частота колебаний f_k вычисляется следующим образом

$$f_k = \frac{h}{v_k}, \quad (15)$$

где V_k – скорость колебательного движения.

Очевидно, что для предотвращения роста кристаллов столбчатого типа необходимо выполнение условия

$$v_{кр} \leq v_k \quad (16)$$

Используя полученные результаты для аналитических оценок частот колебаний изделий для получения результатов улучшения качества наплавленного слоя. При этом оценочное значение диапазона частот составило 1...12 Гц.

С учётом полученных результатов, а также выводов работы [15] была разработана установка, для направки цилиндрических деталей (в основном валов различного назначения) с осевой управляемой вибрацией изделия. Схематически установка представлена на рис. 3 [16] и особого пояснения функционирования её составляющих и установки в целом, по нашему мнению, не требуются.

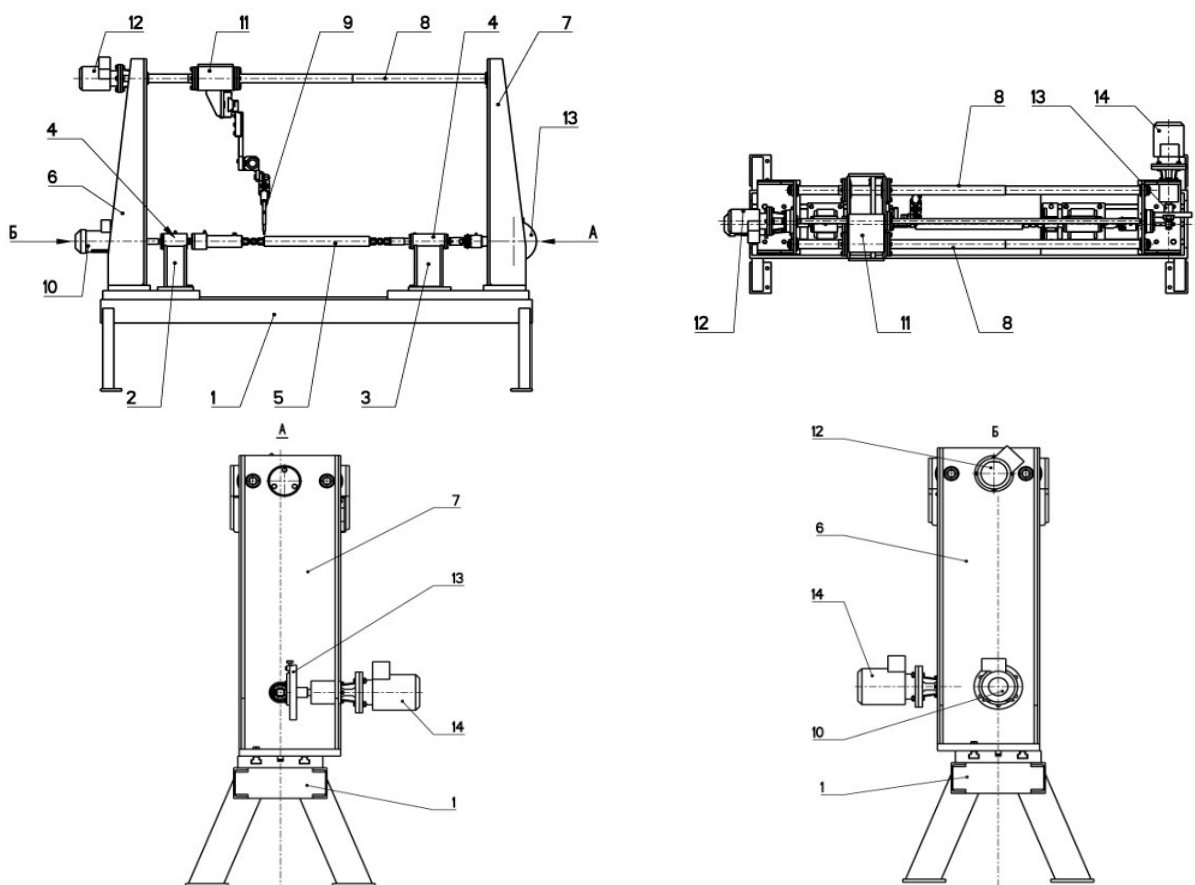


Рис. 3 – Установка автоматической дуговой направки тел вращения с управляемыми импульсными механическими колебаниями изделия:

- 1 – платформа; 2 – левая опора; 3 – правая опора; 4 – устройство фиксации; 5 – изделие; 6 – левая стойка;
- 7 – правая стойка; 8 – направляющая; 9 – сварочная головка; 10 – привод вращения; 11 – механизм с передачей;
- 12 – привод горизонтально - продольного перемещения; 13 – кривошипно-шатунный механизм;
- 14 – привод продольных возвратно-поступательных колебаний изделия

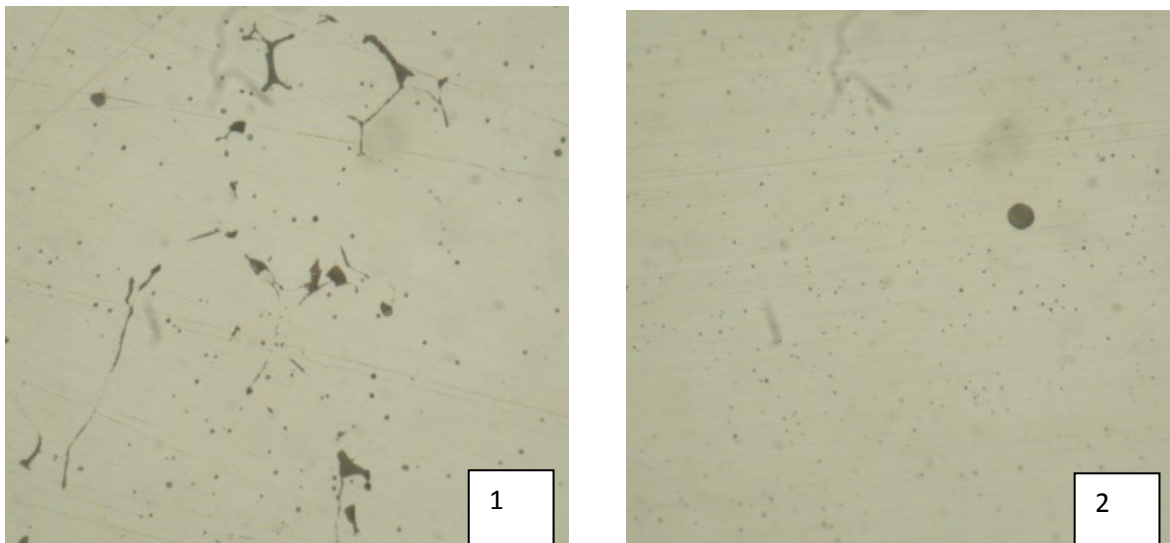


Рис. 4. – Микроструктури наплавленого металла: 1-при наплавке обычным способом;
2- с управляемыми колебаниями наплаваемого изделия

С использованием макетного образца установки производились пробные наплавки для восстановления шеек (посадочных мест) приводных валов механизмов сельскохозяйственного назначения диаметром $3 \cdot 10^{-2}$ м и $3 \cdot 10^{-2}$ м на режимах, приведенных в настоящей статье. В результате исследований пробных наплавок выявлено:

1. увеличение ширины наплавленного слоя на 16..23% в сравнении с наплавкой без колебаний изделия;
2. повышение износостойкости слоя в 1,3...1,7 раза
3. отсутствие трещин в наплавленном слое.

По нашему мнению полученное улучшение механических характеристик наплавленного слоя обусловлено, главным образом, за счёт измельчения структуры наплавленного слоя, что подтверждает приведенные на рис. 4 микроструктуры металла при наплавке с управляемыми колебаниями изделия и без колебаний. Очевидно, что при наплавке с колебаниями наплаваемого изделия практически отсутствуют столбчатые структуры, которые в достаточном числе видны на микроструктуре, полученной при наплавке без колебаний изделия. Заметим, что дополнительные преимущества применения рассмотренного способа наплавки обеспечивает снижение выгорания легирующих элементов.

Дополнительный и весьма значимый эффект от введения относительных вибраций изделия – увеличение ширины наплаваемого валика, что предопределяет следующие результаты:

- повышение производительности технологического процесса;

- снижение припуска на последующую обработку изделия и, в итоге, снижение общих затрат на процесс.

Выводы

1. Результатами применения механических колебаний с выбранными управляемыми параметрами являются следующие воздействия:
 - механическая ломка кристаллов с последующей переплавкой в ванне обломков (осколков);
 - управление температурой перегрева сварочной ванны, за счёт периодического смещения дуги от центра ведения сварочного процесса.
2. Усовершенствованный в данной работе метод определения ширины сварного шва или наплавленного валика достаточно прост и позволяет получить приемлемый результат с минимизацией экспериментов в обусловленной области технологических режимов. Результаты усовершенствований могут быть использованы и для расчёта характеристик других параметров шва.
3. Применённый в работе способ колебания свариваемого или наплаваемого изделия (ванны жидкого металла) с управляемыми по рассчитанным алгоритмам параметрами обеспечивает значительное существенное прочностных характеристик наплавленного слоя или шва и повышение производительности работ.

Список литературы

1. Лебедев, В. А. Импульсные воздействия на процессы сварки и наплавки за счет систем механизированного и автоматического оборудования / В. А. Лебедев, Ю. Н. Сараев // *Сварочное производство*. – 2015. – №5. – С. 34-43.
2. Kamal, Pal. Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review / Kamal Pal, Surjya K. Pal. // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2011. – Vol. 20 (6). – P. 918-931. – doi: 10.1007/s11665-010-9717-y.
3. Ueguri, S. Study of metal transfer in pulsed GMA welding / S. Ueguri, K. Hara, H. Komura // *Welding Journal*. – 1985. – No 64(8). – P. 242-250.
4. Патон, Б. Е. Механические импульсные и вибрационные воздействия в оборудовании и технологиях механизированной сварки и наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, Г. В. Жук, С. В. Драган // *Вібрації в техніці та технологіях*. 16-а Міжнародна науково-технічна конференція (26-27 жовтня 2017 р.). Збірник тез доповідей. – Вінниця. – 2017. – С.10-16.
5. Manikya, Kanti K. Optimization of Weld Bead Penetration in Pulsed Gas Metal Arc Welding using Genetic Algorithm / Manikya Kanti K., Srinivasa Rao P., Ranga Janardhana G. // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. – 2013. – Vol. 3. – Iss. 3. – P. 368-371.
6. Петров, Г. Л. Теория сварочных процессов / Г. Л. Петров, А. С. Тумарев. – Москва: Высшая школа, 1977. – 392 с.
7. Ивочкин, И. И. Подавление роста столбчатых кристаллов методом «замораживания» сварочной ванны / И. И. Ивочкин // *Сварочное производство*. – 1965. – №12. – С. 52-55.
8. Болдырев, А. М. О механизме формирования структуры металла шва при введении низкочастотных колебаний в сварочную ванну / А. М. Болдырев // *Сварочное производство*. – 1976. – №2. – С. 1-3.
9. Лебедев, В. А. Определение параметров импульсного механического воздействия на сварочную ванну для структуризации металла при автоматической дуговой наплавке / В. А. Лебедев, С. В. Драган, А. Ф. Галь, О. А. Козырко // *Збірник наукових праць НУК. Обробка матеріалів у машинобудуванні*. – 2016. – №1. – С. 19-26.
10. Островская, С. А. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / С. А. Островская, Г. И. Лесков, Г. З. Волошкевич и др. / Под ред. Б.Е. Патона. – Москва: Машиностроение. – 1974. – 768 с.
11. Коринец, И. Ф. Номограммы для определения режимов дуговой сварки в углекислом газе / И. Ф. Коринец, Ю. И. Охай // *Автоматическая сварка*. – 1995. – № 10. – С. 46-48
12. Луценко, В. Т. Методика приближенного расчёта параметров шва при сварке (наплавке) в CO₂ / В. Т. Луценко // *Сварочное производство*. – 1972. – № 1. – С. 20-22.
13. Ефимов, В. А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов. – Москва: Металлургия. – 1995. – 272 с.
14. Кузнецов, В. Д. Кристаллы и кристаллизация / В. Д. Кузнецов. – Москва: ГПТЛ. – 1954. – 411 с.
15. Макара, А. М. Поперечные перемещения дуги как фактор улучшения структуры и свойств сварных соединений / А. М. Макара, Б. Н. Кушнеренко // *Автоматическая сварка*. – 1967. – №1. – С. 31-35.
16. Лебедев, В. О., Козырко, О. А., Драган, С. В., Галь А. Ф. Спосіб дугового зварювання або наплавлення. Патент на корисну модель №101999. Публікація відомостей 12.10.2015. Бюл. № 19.

References (transliterated)

1. Lebedev, V. A., Saraev, Y. N. Impulsnyie vozdeystviya na protsessyi svarki i naplavki za schet sistem mehanizirovannogo i avtomaticheskogo oborudovaniya. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2015, 5, 34-43.
2. Kamal, Pal, Surjya, K. Pal. Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2011, 20(6), 918-931, doi: 10.1007/s11665-010-9717-y.
3. Ueguri, S., Hara, K., and Komura, H. Study of metal transfer in pulsed GMA welding. *Welding Journal*, 1985, 64 (8), 242-250.
4. Paton, B. E., Lebedev, V. A., Juk, G. V., Dragan, S. V. Mehanicheskie impulsnyie i vibratsionnyie vozdeystviya v oborudovanii i tehnologiyah mehanizirovannoy svarki i naplavki. *Vibratsii v tehnitsi ta tehnologiyah*. 16-a Mijnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya. Zbirnik tez dopovidey. Vinnitsya, 2017, 10-16.
5. Manikya, Kanti K., Srinivasa, Rao P., Ranga, Janardhana G. Optimization of Weld Bead Penetration in Pulsed Gas Metal Arc Welding using Genetic Algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013, 3, 3, 368-371.
6. Petrov, G. L., Tumarev, A. S. Teoriya svarochnyih protsessov, M., 1977, 392.
7. Ivochkin, I. I. Podavlenie rosta stolbchatyih kristallov metodom "zamorajivaniya" svarochnoy vannyi // *Svarochnoe proizvodstvo*, 1965, 12, 52-55.
8. Boldyrev, A. M. O mehanizme formirovaniya struktury metalla shva pri vvedenii nizkochastotnyih kolebaniy v svarochnuyu vannu. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1976, 2, 1-3.
9. Lebedev, V. A., Dragan, S. V., Gal, A. F., Kozyrko, O. A. Opredelenie parametrov impulsnogo mehanicheskogo vozdeystviya na svarochnogo vannu dlya strukturizatsii metalla pri avtomaticheskoy dugovoy naplavke. *Zbirnik naukovih prats NUK. Obrobka materialiv u mashinobuduvanni*, 2016, 1, 19-26.
10. Ostrovskaya, S. A., Leskov, G. I., Voloshkevich, G. Z. at al Tehnologiya elektricheskoy svarki metallov i splavov plavlennem. Pod red. B.E. Patona, Moskwa, Mashinostroenie, 1974, 768.
11. Korinets, I. F., Ohay, Y. I. Nomogrammyi dlya opredeleniya rejimov dugovoy svarki v uglekislom gaze. *Avtomaticheskaya svarka*, 1995, 10, 46-48.
12. Lutsenko, V. T. Metodika priblizhennogo rascheta parametrov shva pri svarke (naplavke) v CO₂. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1972, 1, 20-22.
13. Efimov, V. A., Eldarhanov, A. S. Fizicheskie metodyi vozdeystviya na protsessyi zatverdevaniya splavov. Moskwa, Metallurgiya, 1995, 272.
14. Kuznetsov, V. D. Kristallyi i kristallizatsiya. M, GPTL, 1954, 411.
15. Makara, A. M., Kushnerenko, B. N. Poperechnyie peremescheniya dugi kak faktor uluchsheniya strukturyi i svoystv svarnyih soedi-neniy. *Avtomaticheskaya svarka*, 1967, 1, 31-35.

16. **Lebedev, V. O., Kozirko, O. A., Dragan, S. V., Gal, A. F.** korisnu model №101999. Publikatsiya vidomostey Sposib dugovogo zvaryuvannya abo naplavlennya. Patent na 12.10.2015. Byul. № 19.

Сведения об авторах (About authors)

Лебедев Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, главный конструктор ГП ОКТБ, г. Киев, Украина; ORCID: 0000-0003-0391-6113, e-mail: vakpaton@ukr.net.

Vladimir Lebedev – Doctor of technical sciences, professor, E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy, Chief designer at the Experimental Design-Technological Office; ORCID: 0000-0003-0391-6113, e-mail: vakpaton@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лебедев, В. А. Анализ параметров механических управляемых колебаний в системах перемещения изделия и сварочного инструмента автоматического оборудования для электродуговой сварки и наплавки / **В. А. Лебедев** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 8-15. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.02.

Please cite this article as:

Lebedev, V. A. Analysis of parameters of mechanical controlled vibrations in the systems of movement of the product and welding automatic equipment tools for electric arc welding and surfacing. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **45** (1321), 8-15, doi:10.20998/2413-4295.2018.45.02.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лебедев, В. О. Аналіз параметрів механічних керованих коливань в системах переміщення виробу та зварювального інструменту автоматичного устаткування для зварки і наплавлення / **В. О. Лебедев** // *Вісник НТУ «ХПИ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 8-15. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.02.

АНОТАЦІЯ Виконано короткий аналіз ряду відомих способів і методів поліпшення структури металу наплавленого шару для отримання при дуговому процесі зварювання - наплавлення суттєвого впливу на розміри кристалітів, їх орієнтацію з досягненням дезорієнтації. Частина з цих способів складна, а частина недостатньо ефективна у промисловому застосуванні. В роботі розглянуто спосіб управління структуризацією металу, наплавленого механізованими способами з використанням коливань виробу з регульованими параметрами (частота, амплітуда) з отриманням наплавленого шару з поліпшеними механічними характеристиками і підвищенням продуктивності процесу наплавлення. Розроблена та запропонована для практичного застосування в технологічній практиці методика визначення параметрів коливань, заснована на періодичному зміні тепловкладення в метал ванни, що призводить до зменшення різниці між температурою плавлення і перегріву рідкої ванни. Адекватність методики розрахунку параметрів коливань підтверджена отриманими результатами. Підтвердження базується на вивченні мікрошліфів наплавлених валиків у порівнянних варіантах (звичайний режим і режим з коливаннями виробу), на яких можна бачити зміни в розмірах кристалітів (їх очевидне зменшення) і їх спрямованості в бік дезорієнтації. Відзначається, що зміна в розмірах кристалітів, їх дезорієнтація веде до істотного поліпшення механічних властивостей наплавленого шару або зварного шва, крім цього, значно (на 30 ... 40%) підвищується ширина наплавленого шару, а це підвищення продуктивності. При веденні наплавлення з коливаннями виробу з ефективно обраними параметрами істотно підвищеними характеристиками зносостійкості. Підвищення міцності та зносостійкості виробів при зварюванні - наплавленні веде до зростання надійності при експлуатації, зокрема без застосування спеціальних матеріалів та електродних дротів. Особливо виділено спосіб наплавлення циліндричних деталей гвинтовою лінією, при цьому вирішується завдання забезпечення суцільного шару наплавлення з урахуванням коливань або виробу або деталі. Розглянуто конструкцію установки з механізмом керованими за частотою і розмахом (амплітудою) коливань виробу в різних напрямках, і загальним алгоритмом функціонування відповідним розглянутої методики, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб наплавлення. Високий рівень керування параметрами коливань, швидкодії досягається за допомогою застосування в установці безредукторних комп'ютеризованих електроприводів з кроковими електродвигунами. Розглянутий спосіб наплавлення з коливаннями виробів досить ефективний, але має обмеження за масою і розмірами виробу.

Ключові слова: механізоване дугове зварювання; наплавлення; структуризація металу; механічні коливання; параметри; вибір; керування.

Поступила (received) 08.12.2018