DOI 10.15589/jnn20150307
УДК 621.791
В57

INFLUENCE OF IMPULSE ACTION ON ELECTRODE, FORMATION AND PROPERTIES OF SURFACE LAYER AT AUTOMATIC SUBMERGED CLADDING

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРОД, ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Viacheslav F. Kvasnytskii
welding@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6698-7790

Stanislav V. Dragan
dragan.welding@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8634-782X

Zhorzh G. Goloborodko
welding.kherson@nuos.edu.ua
ORCID: —

Ivan V. Simutenkov
simutenkov@inbox.ru
ORCID: 0000-0002-2896-2637

В. Ф. Квасницкий
докт. техн. наук, проф.

С. В. Драган
канд. техн. наук, проф. НУК

Ж. Г. Голобородько
канд. техн. наук, доц.

И. В. Симутенков
магистр

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. High-frequency electrode vibrations (HEV), created by a special electromechanical impulse generator, reduce the part of the base metal (PBM) in the cladded one at automatic submerged cladding (ASC), which in turn should help to improve the properties of the cladded layer. In this regard, the article aim is an experimental study of the HEV influence on the structure, chemical composition and hardness of the clad layer at ASC. There was determined the absence of the HEV influence on the cladded metal structure at the restoring cladding on VSt3sp mild constructional steel with Sv-08A welding wire in the range of modes with low energy input. The chemical analysis of the metal, cladded with HEV using Sv-06Cr19Ni9Ti welding wire on mild steel, showed a higher concentration of chromium and nickel in comparison with cladding without vibrations. The experimental data are in good agreement with the calculation results. The hardness of the cladded metal at two-layer cladding with Sv-08A welding wire under ANC-18 flux in the first layer is increased by 50 HV10, compared to the cladding performed without vibrations, and reaches 300 HV10. When cladding by standard techniques, such hardness is provided only in the second layer. The results indicate that the technology of ASC with HEV, along with an increase in productivity of the process, provides the necessary properties of the cladded layer while reducing consumption of cladding materials and electricity, and point to the reasonability of its use in the cladding of constructional steels.

Keywords: automatic cladding; electrode vibrations; cladding layer properties; chemical composition; hardness.

Анотація. Експериментально встановлено, що при автоматичному наплавленні під флюсом сталі 06Х19Н9Т на сталь ВСт3сп високочастотні коливання електрода забезпечують підвищення концентрації легуючих елементів у наплавленому шарі. При багатошаровому наплавленні дротом Св-08А під флюсом АНК-18 нормативна твердість досягається вже у першому шарі. Високочастотні коливання електрода в інтервалі частот 140…250 Гц сприяють зменшенню глибини проплавлення основного металу, забезпечують якісні формування поверхневого шару та структуру наплавленого металу. Структура металу під впливом ВКЕ у діапазоні режимів з малою погонною енергією не погіршується.

Ключові слова: автоматичне наплавлення; коливання електрода; властивості наплавленого шару; хімічний склад; твердість.

Аннотация. Экспериментально установлено, что при автоматической наплавке под флюсом стали 06Х19Н9Т на сталь ВСт3сп высокочастотные колебания электрода обеспечивают повышение концентрации легирующих элементов в наплавленном слое. При многослойной наплавке проволокой Св-08А под флюсом АНК-18 нормативная твердость достигается уже в первом слое. Высокочастотные колебания электрода в интервале частот 140 … 250 Гц способствуют уменьшению глубины проплавления основного металла, обеспечивают качественные формирование поверхностного слоя и структуру наплавленного металла. Структура металла под воздействием ВКЭ в диапазоне режимов с малой погонной энергией не ухудшается.

Ключевые слова: автоматическая наплавка; колебания электрода; свойства наплавленного слоя; химический состав; твердость.

REFERENCES

[1] Dragan S. V., Jaros Y. A., Simutenkov I. V., Trembich V. J. *Vliyanie vysokochastotnykh kolebaniy elektroda na geometriyu proplavleniya pri avtomaticheskoy naplavke pod flyusom* [Influence of high-frequency electrode vibrations on the geometry of penetration at automatic submerged arc cladding]. Nikolaev, Shipbuilding & Marine infrastructure, 2015, issue 1, pp. 76 – 86.

[2] GOST 5639-82 *Stali i splavi. Metodi vijavlenija i opredelenija velichini zerna* [State Standard 5639-82. Steels and alloys. Methods for detection and determination of grain size]. Moscow, Standartinform Publ., 1983. 23p.

[3] Lebedev B. D., Peremitko V. V. *Raschetnie metodi v svarke plavlenijem* [Calculation methods in the fusion welding. Tutorial]. *Vestnik DGTU* [Bulletin of DSTU]. Dneprodzerzhinsk, 1998. 285 p.

[4] Malinina R. I. *Prakticheskaya metalografiy*a [Practical metallography] Moscow, Intermet Ingeniring Publ., 2002. 240 p.

[5] Razmyshlyaev A. D. *Magnitnoe upravlenie formirovaniem valikov i shvov pri dugovoy naplavke i svarke* [Magnetic control of the formation of weld beds and seams during arc cladding and welding]. Mariupol, PGTU Publ., 2009. 242 p.

[6] RD 212.0080-87. *Rukovodyashchiy dokument po standartizatsii. Pravila. Avtomaticheskaya naplavka stalnykh tsilindricheskikh detaley uglerodistoy i korrozionnostoykoy stalyu pod flyusom. Osnovnye polozheniya* [Guidance document on standardization. Regulations. Automatic submerged welding of steel cylindrical parts made of carbon and stainless steel]. Moscow, Standartinform Publ., 1988. 57 p.

[7] Royanov V. A., Psaras G. G., Zakharova I. V. *Tekhnologicheskie osobennosti elektrodugovoy naplavki s poperechnym kolebaniem dugi* [Technological specifics of arc cladding with a transverse vibration of the arc]. *Vestnik DGTU — Bulletin of DSTU*. Mariupol, 2002, issue 12, pp. 1 – 3.

[8] Lebedev V. A., Dragan S. V., Goloborodko Zh. G., Simutenkov I. V., Yaros Yu. A. *Tekhnologicheskie kharakteristiki avtomaticheskoy naplavki pod flyusom s vysokochastotnymi kolebaniyami tortsa elektroda* [Technological characteristics of automatic submerged cladding with high-frequency vibrations of the electrode end]. *Avtomaticheskaya svarka — Automatic Welding*, 2014, issue 8, pp. 35 – 38.

[9] Lebedev V. A., Dragan S. V., Goloborodko Zh. G., Simutenkov I. V. *Upravlenie razmerami valika pri naplavke pod flyusom s poperechnymi vysokochastotnymi impulsnymi peremeshcheniyami elektroda* [Control of the weld bed size at submerged cladding with transverse high-frequency impulse movements of the electrode]. *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii — Blanking productions in Mechanical Engineering*, 2014, no. 4, pp. 6 – 10.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для получения заданной геометрии и структуры поверхностного слоя при наплавочных работах используют различные методы регулирования тепловложения и физико-химического воздействия на дугу и сварочную ванну [5, 7]. Управление геометрией наплавляемого валика позволяет регулировать долю участия основного металла (ДОМ) в наплавленном слое и обеспечивает необходимые структуру и механические характеристики металла. Одним из средств снижения ДОМ при автоматической наплавке под флюсом (АНФ) конструкционных сталей является использование высокочастотных (более 100 Гц) колебаний торца сварочной проволоки путем импульсного воздействия на электрод [9, 1]. Так как высокочастотные колебания электрода (ВКЭ) уменьшают ДОМ в шве [1], изменяют характер переноса электродного металла — от крупнокапельного к мелкокапельному [9], то это влияет на структуру металла наплавки, его химический состав и механические свойства. Поэтому задача определения влияния ВКЭ на химический состав, структуру и механические свойства наплавленного слоя при АНФ актуальна.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Управление геометрией проплавления при АНФ с ВКЭ основано на рассредоточении теплового потока и силового действия сварочной дуги на основной металл. Это позволяет увеличивать ширину наплавляемого валика и уменьшать глубину проплавления без изменения основных параметров режима [9, 1]. При этом происходит уменьшение площади проплавления и увеличение площади наплавленного металла [8, 9]. Результатом есть снижение ДОМ, что способствует улучшению свойств наплавленного слоя. Однако сведения о влиянии ВКЭ на структуру, химический состав и механические характеристики наплавленного слоя при АНФ в литературе отсутствуют.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — экспериментальное исследование влияния ВКЭ при АНФ на формирование, химический состав, структуру и твердость наплавленного слоя конструкционной ВСт3сп и хромоникелевой коррозионностойкой 06Х19Н9Т сталей.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для изучения влияния ВКЭ на свойства наплавленного слоя на образцы, изготовленные из конструкционной стали марки ВСт3сп, наплавляли валики электродными проволоками диаметром 2 мм на режимах: $I_{св} = 200 \ldots 250$ А; $U_{д} = 27 \ldots 30$ В; $V_{св} = 18 \ldots 22$ м/ч ($q_{п} = 9{,}2 \ldots 10{,}4$ кДж/см), рекомендованных [4]. В качестве образцов использовали пластины размерами 500×200×10 мм. Длину образцов выбирали из условия исключения влияния переходных процессов, связанных с зажиганием и гашением дуги, а также с выходом механического генератора, инициирующего ВКЭ, на устойчивый режим работы.

Для анализа воздействия ВКЭ на химический состав наплавленного металла использовали плавленый безокислительный флюс 48-ОФ-6 и проволоку Св-06Х19Н9Т, а при определении влияния ВКЭ на твердость наплавленного металла — керамический флюс АНК-18 в сочетании с проволокой Св-08А. Такую же электродную проволоку и флюс ОСЦ-45 применяли при изучении влияния ВКЭ на структуру металла.

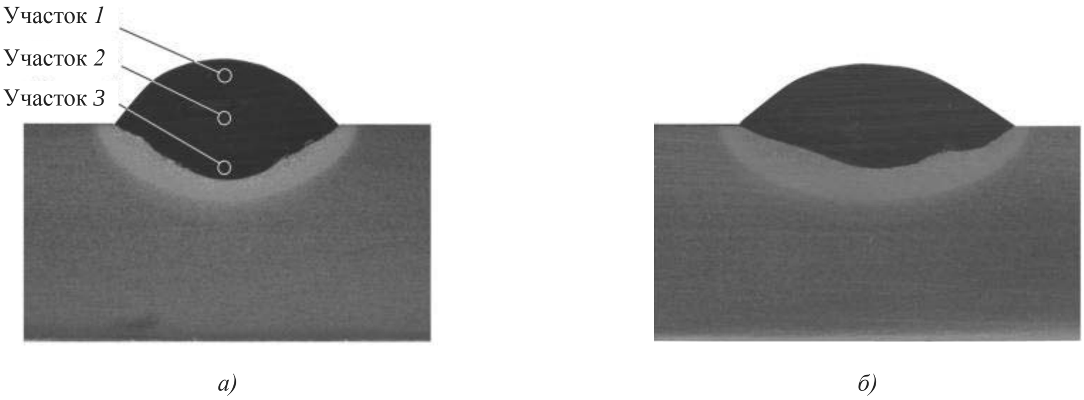
Работы выполняли на стенде, состоящем из сварочного комплекса АСТ 1000 (инверторный источник питания и сварочный трактор) и генератора высокочастотных импульсных воздействий на электрод, закрепленного на сварочной головке. Для металлографических исследований и геометрии проплавления из образцов механическим путем были вырезаны темплеты. Подготовка шлифов, химический анализ металла и измерения твердости соответствовала стандартным методикам [4].

Размеры и площадь наплавленного валика определяли на десятикратно увеличенных изображениях, полученных с помощью сканера. Химический анализ металла проводили на трех участках (рис. 1) с помощью растрового электронного микроскопа-микроанализатора РЭММА-102-02, твердость измеряли твердомером ТП-10, микроструктуру изучали на микроскопе NEOFOT.

Высокочастотные импульсные воздействия на электрод, вызывающие высокочастотные колебания торца электродной проволоки, создавали вдоль и поперек направления наплавки. Параметры колебаний изменяли в диапазонах: частоту $f_{к} = 140 \ldots 250$ Гц, амплитуду $A_{к} = 7 \ldots 10$ мм.

Сопоставление макрошлифов валиков (см. рис. 1.), наплавленных без колебаний и с поперечными ВКЭ, подтверждает установленные ранее закономерности изменения геометрии — рост ширины валика и снижение глубины проплавления основного металла. При практически неизменной высоте валика ширина его увеличилась с 10,3 мм до 12,9 мм (25,2 %), а глубина проплавления уменьшилась с 2,6 мм до 2,0 мм (23,1 %).

Химический анализ наплавленного металла проводили не менее чем в десяти точках для каждого из обозначенных на рис. 1, *а* участков, после чего данные по каждому участку усредняли. Результаты определения содержания основных легирующих элементов, входящих в состав электродной проволоки — хрома и никеля, — свидетельствуют (рис. 2) об увеличенной концентрации и равномерном распределении этих элементов при наплавке с ВКЭ в отличие от наплавки без ВКЭ. Во флюсе марки 48-ОФ-6 указанные химические элементы отсутствуют.



а) *б)*

Рис. 1. Макрошлифы валиков, наплавленных проволокой Св-06Х19Н9Т:
а — без колебаний электрода; *б* — с поперечными колебаниями частотой $f_{к} = 140$ Гц

Повышенное содержание хрома и никеля обусловлено мелкокапельным переносом электродного металла и меньшим перемешиванием его с металлом основы. Для исследованных режимов ДОМ при наплавке без колебаний составляет 0,49, а при воздействии ВКЭ — 0,36.

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчета по общеизвестным формулам [6] показало их достаточную сходимость (табл. 1).

Исследования влияния ВКЭ на твердость наплавленного металла при двухслойной наплавке проволокой Св-08А под флюсом АНК-18 показали (рис. 3), что вследствие снижения ДОМ в первом слое твердость наплавленного металла повышается на 50 HV_{10} по сравнению с наплавкой, выполненной без колебаний, и достигает 300 HV_{10}. При наплавке по стандартной технологии такая твердость обеспечивается только во втором слое [6].

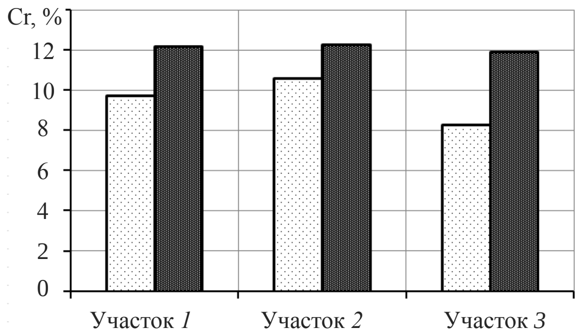
Влияние ВКЭ на структуру металла оценивали по микрошлифам (рис. 4) после наплавки проволокой Св-08А без колебаний и с колебаниями электрода в продольном и поперечном направлениях. Оценку выполняли в соответствии с методикой [2] путем сопоставления количества зерен, приходящихся на единицу площади шлифа, и среднего размера зерна.

Сравнение структур не показало отрицательного влияния ВКЭ на условия формирования наплавленного слоя в диапазоне режимов с малой погонной энергией. При наплавке электродной проволокой большего диаметра на более мощных режимах возможен положительный эффект влияния ВКЭ на структуру. Такие исследования предусмотрены программой дальнейших работ.

В процессе исследований установлено также, что использование высокочастотных колебаний электрода при наплавке под флюсами ОСЦ-45, АН-348-А, 48-ОФ-6, АНК-18, рекомендоваными нормативными документами [4], не приводит к снижению качества формирования наплавленного слоя, поэтому указанные марки флюсов могут применяться при АНФ с ВКЭ без ограничений.

Таким образом, результаты выполненных исследований доказывают, что технология автоматической наплавки конструкционных сталей под флюсом с ВКЭ обеспечивает, наряду с повышением производительности, экономию наплавочных материалов и электроэнергии за счет уменьшения количества проходов, необходимых для получения благоприятного химического состава и структуры наплавленного металла или его нормированной твердости.

Разработанная технология автоматической наплавки конструкционных сталей под флюсом с ВКЭ удовлетворяет требованиям РД 212.0080-87 (распространяется на судовые механизмы и устройства, детали механизмов подъемно-транспортной техники портов и гидротехнических сооружений).



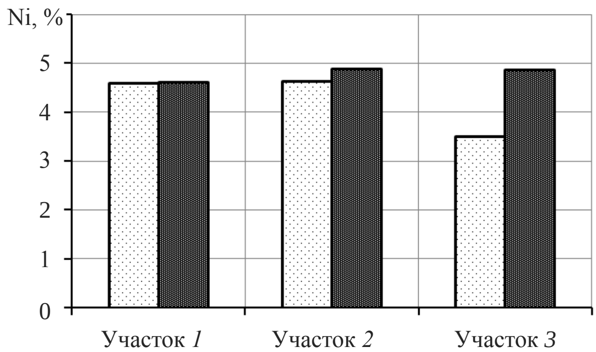


Рис. 2. Изменение концентрации хрома (*а*) и никеля (*б*) в металле, наплавленном проволокой Св-06Х19Н9Т: □ — без колебаний; ■ — с колебаниями частотой $f_к$ = 140 Гц

Таблица 1. Содержание хрома и никеля в валике, наплавленном с поперечными ВКЭ под флюсом 48-ОФ-6 проволокой Св-06Х19Н9Т

Химический элемент	Содержание, % масс.				
	В проволоке	В наплавленном валике			
		Без колебаний		С колебаниями	
		Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
Хром	18 ... 20 / 19	9,6	8,2 ... 10,7 / 9,5	12,2	11,9 ... 12,3 / 12,1
Никель	8 ... 10 / 9	4,6	3,7 ... 4,6 / 4,2	5,7	4,6 ... 4,9 / 4,8

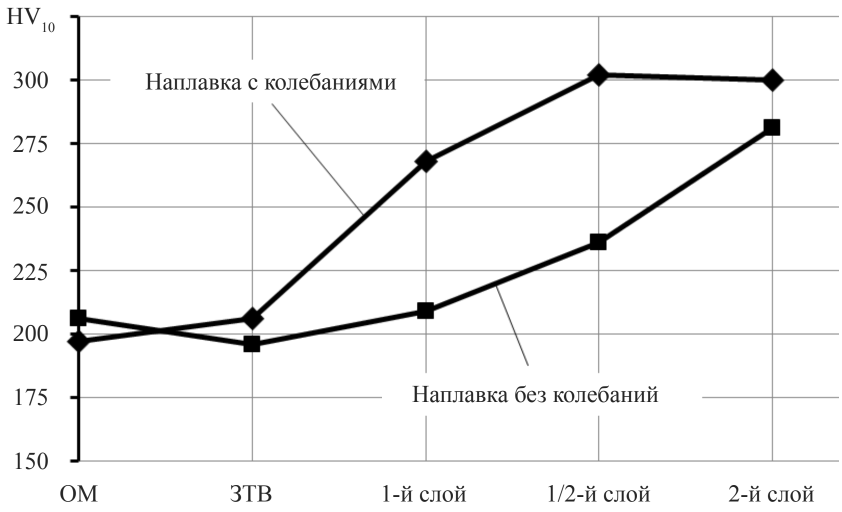


Рис. 3. Распределение твердости по глубине двухпроходной наплавки проволокой Св-08А под флюсом АНК-18 на сталь Ст3сп при частоте колебаний электрода f = 250 Гц

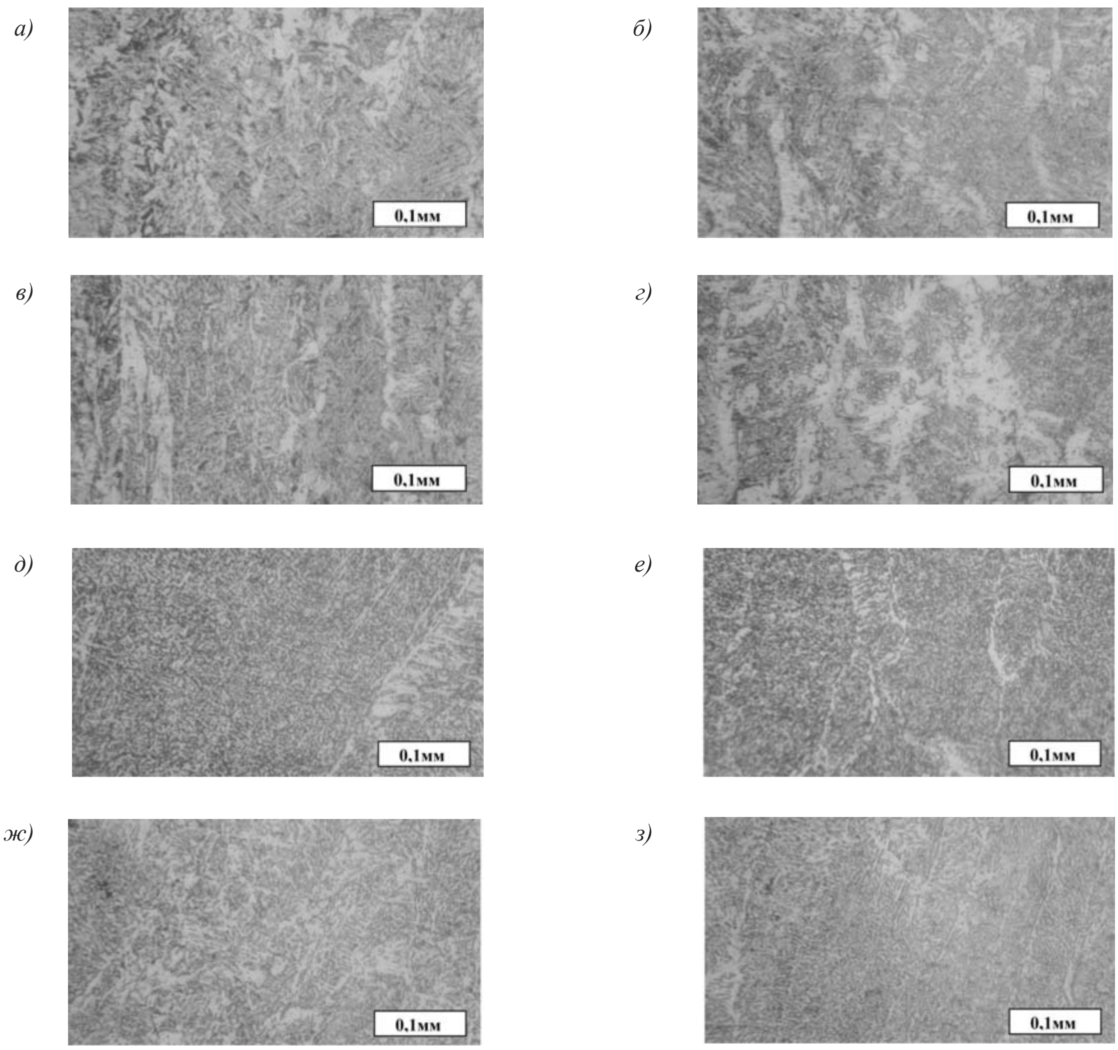


Рис. 4. Микроструктура металла, наплавленного проволокой Св-08А под флюсом ОСЦ-45 на сталь Ст3сп:
а, *в*, *д*, *ж* — без колебаний электрода; *б*, *г* — с высокочастотными поперечными колебаниями; *е*, *з* — с высокочастотными продольными колебаниями; *а*, *б*, *д*, *е* — участок *1* на рис. 1; *в*, *г*, *ж*, *з* — участок *2*.

ВЫВОДЫ 1. При наплавке проволокой Св-06Х19Н9Т с высокочастотными поперечными колебаниями в исследованном диапазоне режимов ширина валика увеличивается на 25,2%, глубина проплавления уменьшается на 23,1 %, доля участия основного металла снижается с 0,49 до 0,36. 2. Вследствие снижения ДОМ при двухслойной наплавке с ВКЭ проволокой Св-08А под флюсом АНК-18 на сталь Ст3сп нормативная твердость наплавленного металла достигается в первом слое. 3. Содержание основных легирующих элементов — хрома и никеля — при наплавке хромоникелевой проволокой Св-06Х19Н9Т с высокочастотными колебаниями превышают содержание их в наплавленном слое на 27% и 14% соответственно по сравнению с наплавкой без колебаний. 4. Колебания электродной проволоки с частотой 140…250 Гц в проанализированном диапазоне режимов наплавки при использовании сварочных материалов, рекомендованных РД 212.0080-87, не приводят к снижению качества формирования наплавленного слоя и структуры наплавленного металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] **Драган, С.В.** Влияние высокочастотных колебаний электрода на геометрию проплавления при автоматической наплавке под флюсом [Текст] / С.В. Драган, Ю.А. Ярос, И.В. Симутенков, В.Я. Трембич / Shipbuilding & Marine infrastructure. — 2015. — №1(3). — С. 76–86.

[2] ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [Текст]. — Введ. 1983-01-01. — М. : Издательство стандартов, 1983. — 23 с.

[3] **Лебедев, Б.Д.** Расчетные методы в сварке плавлением [Текст] : учебн. пособие / Б.Д. Лебедев, В.В. Перемитько. — Днепродзержинск : Изд-во ДГТУ. — 1998. — 285 с.

[4] **Малинина, Р.И.** Практическая металлография [Текст] / Р.И. Малинина. — М. : Интермет Инжиниринг, 2002. — 240 с.

[5] **Размышляев, А.Д.** Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке [Текст] / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова. — Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2009. — 242 с.

[6] РД 212.0080-87. Руководящий документ по стандартизации. Правила. Автоматическая наплавка стальных цилиндрических деталей углеродистой и коррозионностойкой сталью под флюсом. Основные положения [Текст]. — М. — 1988. — 57 с.

[7] **Роянов, В.А.** Технологические особенности электродуговой наплавки с поперечным колебанием дуги [Текст] / В.А. Роянов, Г.Г. Псарас, И.В. Захарова // Вестник ПГТУ, 2002. — Вып. 12. — С. 1–3.

[8] Технологические характеристики автоматической наплавки под флюсом с высокочастотными колебаниями торца електрода [Текст] / В.А. Лебедев, С.В. Драган, Ж.Г. Голобородько, И.В. Симутенков, Ю.А. Ярос // Автоматическая сварка. — 2014. — № 8(734). — С. 35–38.

[9] Управление размерами валика при наплавке под флюсом с поперечными высокочастотными импульсными перемещениями электрода [Текст] / В.А. Лебедев, С.В. Драган, Ж.Г. Голобородько, И. В. Симутенков. // Заготовительные производства в машиностроении. — 2014. — №4. — С. 6–10.

Надійшла до редколегії 08.06.2015

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *О.М. Дубовий*