

УДК 621. 791. 011  
DOI: 10.12737/21239

**В.А. Лебедев**, д.т.н.,  
(Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко 11),  
**Ж.Г. Голобородько**, к.т.н.,  
**С.В. Драган**, к.т.н., **И.В. Симутенков**, к.т.н.,  
(Национальный университет кораблестроения, 54025, г. Николаев, просп. Героев Сталинграда 9),  
**Ю.А. Ярос**, к.т.н.,  
(ООО НПФ АМИТИ, 54028, г. Николаев, ул. Новозаводская, 42)  
E-mail: office@paton.kiev.ua

## **Усовершенствование технологии автоматической наплавки под флюсом при ремонте судовых гребных валов**

*Изложена технология восстановления судовых валов с применением автоматической наплавки под флюсом с использованием специализированной наплавочной установки и сварочного комплекса с механическим генератором высокочастотного импульсного воздействия на электродную проволоку. Приведены результаты опытной наплавки коррозионно-стойкого покрытия на гребной вал диаметром 200 мм.*

**Ключевые слова:** наплавка; технология; восстановление; судовые детали.

**V.A. Lebedev**, D.Eng.,  
(Paton Institute of Electric Arc Welding of NAS of Ukraine 11, Bozhenko Str., Kiev-150. 03680),  
**Zh.G. Goloborodko**, Can.Eng.,  
**S.V. Dragan**, Can.Eng., **I.V. Simutenkov**, Can.Eng.,  
(National Shipbuilding University, 9, Stalingrad Heroes Avenue 54025, Nikolayev)  
**Yu.A. Yaros**, Can.Eng.  
(SPF Co. AMITI, 42, Novozavodskaya, 54028, Nikolayev)

## **Improvement of automatic surfacing technique under flux at ship propeller shaft repair**

*During the operation of surfaces in ship propeller shafts they are worn out intensively. To prolong their life there are used at shipyards an automatic surfacing under flux (ASF) which, besides high efficiency is characterized with a considerable share of a basic metal participation in surfacing worsening properties of a deposited layer.*

*The aim of the paper consists in the technology improvement of ship propeller shafts restoration with the aid of ASF and SBM decrease on the basis of complex mechanization and energization of a technological process.*

*The process energization consists in the transfer character control of electrode metal through an arc by geometry and properties of driven rollers at the expense high-frequency extra-axial oscillations of an electrode (EOE) created by a special mechanical generator. The developed ASF technology ensures pad quality meeting requirements of the Register.*

**Keywords:** surfacing; techniques; restoration; ship parts.

На судах морского и речного флота такие ответственные детали механизмов и устройств, как гребные валы, баллеры, штыри рулей и другие эксплуатируются в условиях воздействия циклической нагрузки и коррози-

онной среды. В результате действия эксплуатационных нагрузок поверхности деталей интенсивно изнашиваются, теряют коррозионную стойкость, а развитие поверхностных трещин приводит к не прогнозируемым раз-

рушениям [11]. Такие детали поднадзорны морскому Регистру и к их качеству предъявляются высокие требования, направленные на обеспечение необходимой эксплуатационной надежности и долговечности [2].

На судоремонтных предприятиях для prolongации срока службы изношенных деталей применяют различные способы их восстановления дуговой наплавкой, в том числе автоматической под флюсом (АНФ) [1].

Однако, наряду с высокой производительностью процесса, АНФ характеризуется чрезмерным тепловложением в основной металл. Вследствие этого возрастают глубина проплавления и остаточные деформации наплавляемой детали, увеличивается подмешивание основного металла к наплавленному, достигающее 50...60 % [9, 10]; снижается содержание химических элементов, обеспечивающих коррозионную стойкость поверхности наплавленного слоя.

Известные приемы АНФ [5, 6, 9, 10] в ряде случаев позволяют снизить отрицательное влияние избыточного тепловложения, однако их реализация связана с необходимостью применения сложных сварочных установок или дорогих источников сварочного тока с программированием параметров режима.

В условиях судоремонта, при большом разнообразии восстанавливаемых деталей, их значительной массе и габаритах для АНФ целесообразно использование серийного сварочного оборудования, оснащенного, в том числе, простым устройством, активизирующим процесс наплавки, в сочетании с комплексной механизацией всего технологического процесса восстановления изношенных поверхностей деталей.

Под активизацией процесса в этом случае следует понимать принудительное удаление с торца электродной проволоки расплавленного слоя в результате импульсного механического воздействия на электрод, вызывающего высокочастотные (более 100 Гц) колебания его торца. При этом изменяется характер переноса электродного металла – от крупнокапельного к мелкокапельному, и обеспечиваются условия регулирования тепловложения в основной металл [3].

Целью данной работы является усовершенствование технологии восстановления судовых гребных валов диаметром до 400 мм автоматической наплавкой под флюсом на основе комплексной механизации технологического процесса.

Наплавку опытных гребных валов произво-

дили по одобренной Регистром программе, согласно которой к восстановлению допускаются валы, имеющие износ, трещины и коррозионные разрушения глубиной не более 5 % в пределах расчетного (по Правилам Регистра) диаметра вала. При износе вала, превышающего 15 мм на сторону, восстановление наплавкой не допускается. Восстановлению наплавкой подлежали гребные валы, имеющие износ, коррозионные разрушения, трещины и смятия по конусу, под облицовками и в остальной части вала, а также коррозионные каверны и другие поверхностные дефекты, которые могут явиться очагами зарождения усталостных трещин. Наплавляемую поверхность вала предварительно подвергали проточке на токарном станке до чистого металла (рис. 1).



Рис. 1. Станок для проточки гребных валов

При этом следы выработок, коррозионных разрушений, трещин, расслоений, неметаллических включений и другие дефекты полностью удаляли в соответствии с требованиями РД 31.52.12–88 «Судовые гребные валы. Восстановление электродуговой наплавкой перлитными и хромоникелевыми сталями».

После проточки гребного вала под наплавку производили магнитную дефектоскопию либо контроль цветным методом участка, подлежащего наплавке, а также зоны шириной 20 мм на каждую сторону, прилегающей к этому участку.

Технологию наплавки отработывали на специализированной наплавочной установке или на стенде со сварочным комплексом АСТ 1000.

Установка (рис. 2, а) собрана на базе машины типа RM 461E фирмы Messer для газовой резки труб, модернизированной для наплавочных работ. Система управления машиной позволяет плавно регулировать скорости вращения вала и перемещения электрода вдоль образующей вала. Установка оборудована зажимным патроном (рис. 2, б) для вращения вала, наплавочной головкой с подаю-

щим механизмом от полуавтомата ПДГ-508М и бункером для флюса (рис. 2, в). В качестве источника питания применяли сварочный выпрямитель ВС-630.

Сварочный комплекс АСТ 1000 состоит из инверторного источника питания и сварочно-

го трактора, оснащенного механическим генератором импульсного воздействия на электродную проволоку, позволяющему создавать высокочастотные колебания электрода поперек (рис. 3, а) или вдоль (рис. 3, б) оси наплавляемого валика.



а)



б)



в)

Рис. 2. Общий вид (а), зажимной патрон (б) и наплавочная головка (в) установки на базе машины типа RM 461E

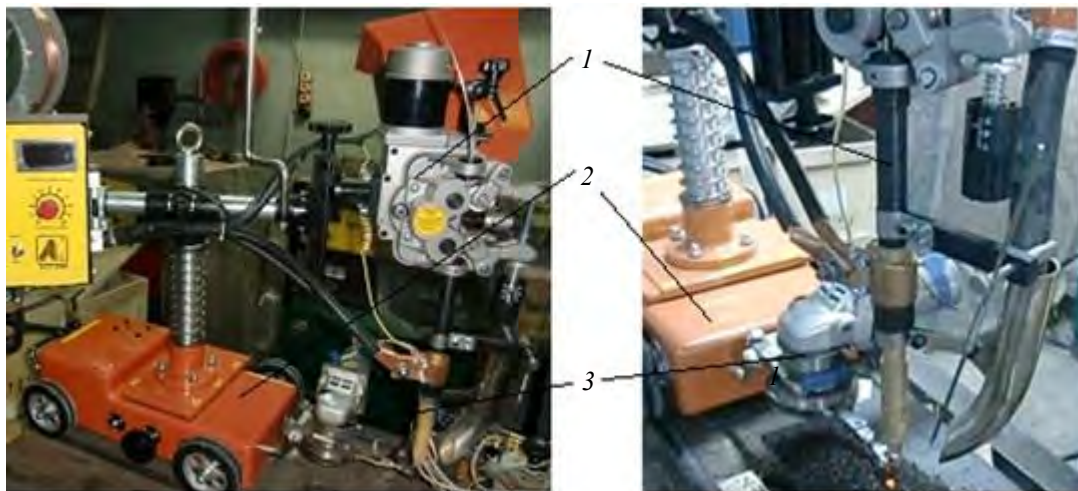


Рис. 3. Сварочный трактор с механическим генератором для импульсного воздействия на электродную проволоку: 1 – сварочная головка; 2 – каретка трактора; 3 – механический генератор

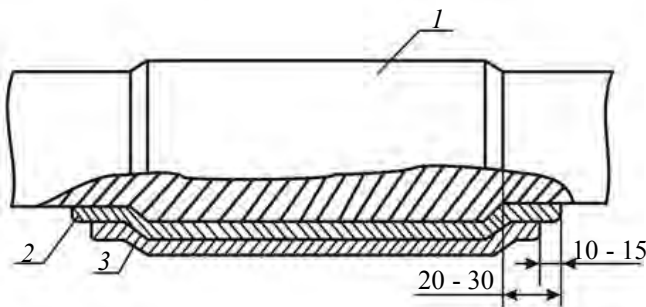
При наплавке на установке с машиной RM 461E подготовленный вал устанавливали на колесные тележки и с их помощью вводили в зажимной патрон. Вал слегка зажимали в патроне, затем выравнивали по уровню. При этом вес вала воспринимается колесными те-

лежками, а патрон служит только для обеспечения вращения изделия. После выверки положения вал зажимали окончательно. Проверяли биение наплавляемых поверхностей, которое не должно превышать 0,1 мм.

Восстановление изношенных поверхностей

цилиндрических деталей выполняли однозаходной наплавкой по винтовой линии с шагом, обеспечивающим перекрытие валиков не менее чем на 1/3 их ширины [4]. Локальные дефектные участки наплавливали с использованием стэнда со сварочным трактором.

Для восстановления геометрии деталей из углеродистых и низколегированных сталей использовали проволоку диаметром 2 мм марок Св-08А или Св-08АА в сочетании с флюсами АН-348АМ или ОСЦ-45М. Для защиты от воздействия агрессивных сред на поверхности гребных валов и баллеров, изготовленных из обычных сталей, облицовочный слой металла, стойкий против коррозии в морской воде, наплавливали по подслою из низкоуглеродистой стали (рис. 4).



**Рис. 4. Схема антикоррозионной наплавки вала:**  
1 – основной металл; 2 – подслоя, наплавленный малоуглеродистой сталью; 3 – слой, наплавленный аустенитной сталью

При этом учитывали дополнительные требования к технологии наплавки, предусматривающие снижение сварочных деформаций вала и степени перемешивания основы с наплавленным металлом, а также исключение образования в основном металле нежелательных мартенситных структур. С этой целью наплавку на установке выполняли на режимах, обеспечивающих минимальное проплавление основного металла [7, 8].

При использовании сварочного трактора с механическим генератором высокочастотных колебаний электрода указанное ограничение было снято. В последнем случае назначали оптимальное соотношение между параметрами управляющего воздействия (частотой и амплитудой), что позволило снизить долю участия основного металла в наплавленном слое на 40 ... 45 % [3].

Параметры режима колебаний выбирали с помощью разработанной диаграммы (рис. 5), позволяющей, кроме этого, установить влияние параметров колебаний на характер переноса металла и геометрию наплавленного ва-

лика. На диаграмме выделены следующие области.

*Область 1* – обеспечивается управление только размерами наплавленного валика и глубиной проплавления металла основы.

*Область 2* – реализуется комбинированным управлением геометрией валика и характером переноса металла через дугу в зависимости от соотношения между параметрами колебаний – частотой  $f_k$  и амплитудой  $A_k$ :

а) при  $f_k \geq f_{ЖМС}$ ;  $A_k < d_3$  обеспечивается управление толщиной жидкого металлического слоя (ЖМС) на торце электрода диаметром  $d_3$ ;

б) при  $f_k \geq f_{ПМ}$ ;  $A_k < d_3$  обеспечивается управление характером переноса металла (МП);

в) при  $f_k \geq f_{ПМ}$ ,  $d_3 < A_k < e_0$  обеспечивается управление характером переноса металла (ПМ) и производительностью расплавления электродной проволоки ( $e_0$  – ширина наплавленного валика при отсутствии импульсного механического воздействия на электрод);

г) при  $f_k \leq f_{ПМ}$ ,  $e_0 < A_k < L_{св}$  обеспечивается управление размерами наплавленного валика и глубиной проплавления основы металла ( $L_{св}$  – длина сварочной ванны).

*Область 3* – нарушение стабильности дугового процесса и ухудшение качества формирования наплавленного слоя вследствие чрезмерно высокой скорости перемещения дуги.

В соответствии с РД 31.52.12–88 для получения коррозионно-стойкого слоя следует применять наплавку под флюсами марок АН-20 или АН-26 проволокой марки Св-08Х20Н9Г7Т, обладающей высокими технологическими свойствами и обеспечивающей высокое качество наплавленного металла (при отсутствии проволоки Св-08Х20Н9Г7Т ее можно заменить сварочными проволоками марок Св-06Х19Н9Т или Св-04Х19Н11М3).

При отработке технологии наплавки было исследовано качество коррозионно-стойкого слоя на гребных валах диаметром 200 мм. Исследования проводили в процессе наплавки по двум технологическим вариантам.

Вариант 1 – наплавка на установке (см. рис. 2) проволокой марки Св-04Х19Н11М3 под слоем флюса АН-26С. Наплавку выполняли под надзором Регистра (РМРС) по подслою из низкоуглеродистой стали.

Вариант 2 – наплавка на опытном стенде (см. рис. 3) проволокой Св-06Х19Н9Т под слоем флюса 48-ОФ-6. Наплавку выполняли в соответствии с программой спецификации



процесса наплавки, подтвержденной экспертом Украинской аттестационной комиссии

сварщиков (УАКС). Режимы наплавки для обоих вариантов приведены в табл. 1.

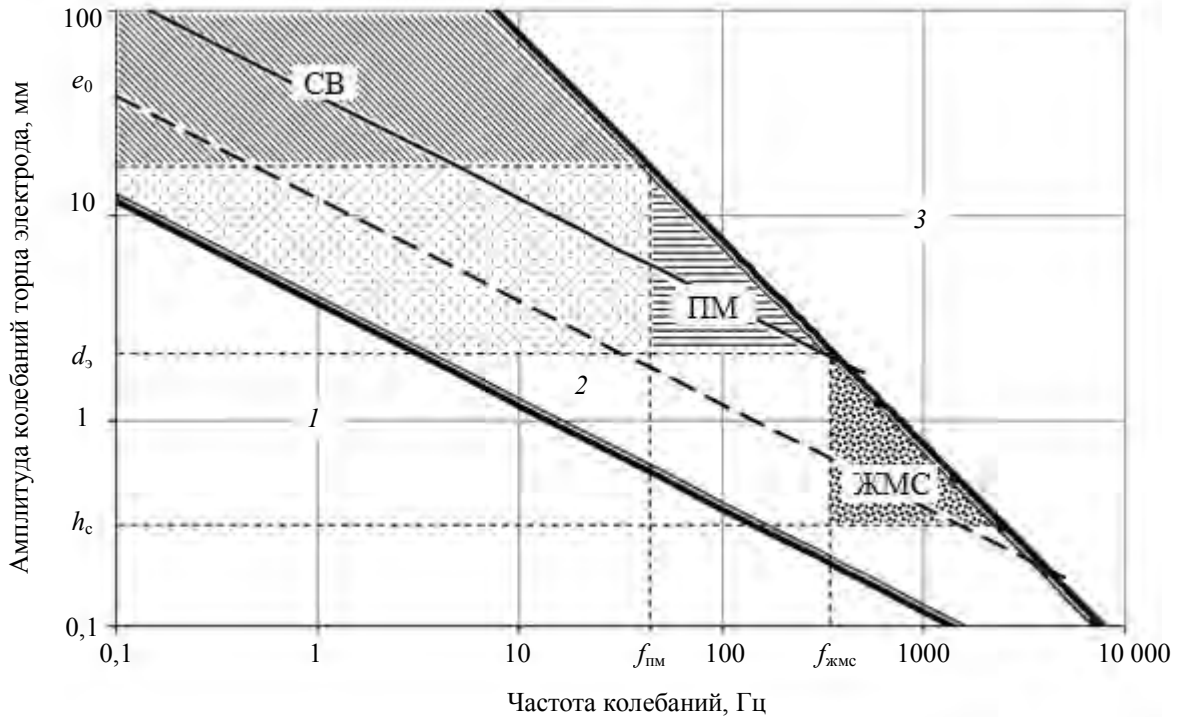


Рис. 5. Диаграмма для выбора параметров высокочастотных колебаний электрода

1. Режимы автоматической наплавки опытных гребных валов Ø 200 мм (диаметр электродной проволоки  $d_s = 2$  мм)

Характеристика прохода		Скорость подачи проволоки, м/ч	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Линейная скорость наплавки, м/ч	Вылет электрода, мм	Смещение электрода от «зенита», мм	Толщина слоя, наплавленного за один проход, мм
Подслой	* Проволока Св -08А, флюс АН-348АМ	194	260...280	27...28	36...40	20	19	3,0...3,5
	**Проволока Св-08А, флюс ОСЦ – 45М	152	240...260	30...32	22...25	20	14	2,0...2,5
Облицовочный слой	* Проволока 04Х19Н11М3, флюс АН-26С	120	190...210	26...28	22...27	20	13	2,0...2,5
	** Проволока Св-06Х19Н9Т, флюс 48-ОФ-6	140	240...250	30...32	21...23	30	15	2,5...2,9

**Примечания:** 1. Шаг наплавки 5,1...4,3мм; 2. \* наплавка без колебаний электрода; \*\* наплавка с колебаниями электрода.  
3. Режим колебаний: амплитуда: 4 мм; частота 140 Гц; направление колебаний электрода – поперек валика

Толщина наплавленного подслоя составляла не менее 3,0...4,0 мм, толщина слоя с высокой степенью коррозионной стойкости в морской воде – не менее 5,0...6,5 мм.

Металлографические исследования зоны наплавки показали (рис. 6), что по всей длине обеспечивается равномерная высота наплавленного слоя, в зоне сплавления нержавеющей стали с подслоем из малоуглеродистой стали несплавления и другие дефекты отсутствуют.



Рис. 6. Продольный макрошлиф зоны наплавки

Анализ геометрии наплавленного валика показал (рис. 7), что высокочастотные внеосевые механические колебания электрода, независимо от направления приложения импульсного воздействия вдоль или поперек оси валика, снижают глубину проплавления основного металла.

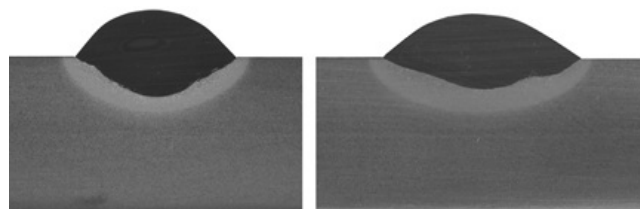


Рис. 7. Поперечные макрошлифы валиков, наплавленных проволокой Св-06Х19Н9Т:

а – без колебаний электрода; б – с поперечными колебаниями с частотой  $f_k = 140$  Гц

Вместе с тем, продольные колебания способствуют увеличению высоты наплавленного валика, уменьшая его ширину. При поперечных колебаниях ширина валика возрастает при практически неизменной его высоте.

После завершения наплавки вал протачивали на токарном станке (см. рис. 1) до необходимого диаметра. При проточке отбирали стружку для химического анализа металла наплавленного слоя. Отбор стружки производили при минимальной скорости резания. Химический анализ (табл. 2) показал незначительное, по сравнению со сварочной проволокой, снижение содержания в поверхностном защитном слое основных легирующих элементов, обеспечивающих коррозионную стойкость вала.

## 2. Результаты химического анализа металла

Металл	Содержание элементов, %					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
Проволока Св -04Х19Н11МЗ		1,03	0,25	18,40	11,40	2,90
Наплавленный слой	$\frac{0,04...0,09}{0,07}$	–	–	$\frac{16,07...16,57}{16,32}$	$\frac{10,00...10,50}{10,25}$	2,90

*Примечание.* В знаменателе указано среднее значение.

При наплавке с поперечными механическими колебаниями электродной проволоки Св-06Х19Н9Т под флюсом 48-ОФ-6 были получены аналогичные результаты, но с повышенным уже в первом проходе содержанием хрома и никеля (на 27 % и 14 % соответственно) по сравнению с наплавкой без колебаний. Это объясняется, главным образом, меньшим перемешиванием наплавленного металла с основой.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о соответствии разработанной технологии требованиям РД 212.0080-87 (рас-

пространяется на судовые механизмы и устройства, детали механизмов подъемно-транспортной техники портов и гидротехнических сооружений) и возможности ее использования на судостроительных и судоремонтных предприятиях.

### Выводы

1. Разработанная технология автоматической наплавки под флюсом обеспечивает высокое качество восстановления судовых цилиндрических деталей: в зоне сплавления наплавленного слоя из нержавеющей стали с подслоем из малоуглеродистой стали дефекты

отсутствуют; химический состав наплавленного металла практически не отличается от состава электродной проволоки.

2. Применение высокочастотных внеосевых колебаний электродной проволоки при автоматической наплавке под флюсом позволяет активно управлять характером переноса электродного металла через дугу, геометрией и свойствами наплавленных валиков.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ананьев, С.П., Коротков, В.А., Головизнин, Б.Л., Козлов, В.В.** Совершенствование технологии наплавки крановых колес // Сварочное производство. – 2007. – № 1. – С. 23 – 27.
2. **Голобородко, Ж.Г.** Импульсно-дуговая наплавка медных сплавов на сталь в судовом машиностроении // Сварщик: Информационно-технический журнал. – 2011. – № 4. – С. 36 – 37.
3. **Драган, С.В., Симутенков, И.В., Ярослав, Ю.А., Трэмбич, В.Я.** Влияние высокочастотных колебаний электрода на геометрию проплавания при автоматической наплавке под флюсом // Судостроение и морская инфраструктура. – 2015. – № 1 (3). – С. 76 – 86.
4. **Кусков Ю.М., Рябцев И. А., Демченко Ю.В.** и др. Наплавочный участок ремонта деталей гидроэнергетического оборудования в АО «Сакэнергоремонт» // Автоматическая сварка. – 2009. – № 1. – С. 57 – 59.
5. **Меликов, В.В.** Многоэлектродная наплавка. – М.: Машиностроение. 1988. – 144 с.
6. **Размышляев, А.Д.** Автоматическая электродуговая наплавка ленточным электродом под флюсом: монография. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ». – 2013. – 180 с.
7. **Сидашенко, А.И. Скобло, Т.С., Сайчук, А.В., Манило, В.Л.** Теоретическое обоснование температуры нагрева детали при механизированной наплавке по винтовой линии для проведения термомеханической обработки // Вісник ХНТУСГ. – 2013. – Вип. 133. – С. 15 – 22.
8. **Лебедев, В.А., Лендел, И.В.** Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – №9(51). – С. 20–27.
9. **Патон, Б.Е.** Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением – М.: Машиностроение. 1974. – 768 с.

10. **Фрумин, И.И.** Автоматическая электродуговая наплавка. – Харьков. 1961. – 423 с.

11. **Хлыбов, А.А., Колыванов, В.В.** Методика оценки технического состояния гребных валов // Вестник АГТУ, Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 167 – 171.

## REFERENCES

1. Ananiev, S.P., Korotkov, V.A., Goloviznin, B.L., Kozlov, V.V. Improvement in crane wheel surfacing techniques // *Welding Engineering*. – 2007. – № 1. – pp. 23 – 27.
2. Goloborodko, Zh.G. Pulse-arc surfacing of copper alloys on steel in shipbuilding // *Welder: Information-Technical Journal* – 2011. – № 4. – pp. 36 – 37.
3. Dragan, S.V., Simutenkov, I.V., Yaros, Yu.A., Trembich, V.Ya. Electrode high-frequency oscillations effect upon weld penetration geometry at automatic surfacing under flux // *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. – 2015. – № 1 (3). – pp. 76 – 86.
4. Kuskov Yu.M., Ryabtsev I.A., Demchenko Yu.V. et al. Surfacing repair area of parts of hydraulic equipment in “Sakenergorepair” Co. // *Automatic Welding*. – 2009. – № 1. – pp. 57 – 59.
5. Melikov, V.V. *Multi-electrode Surfacing*. – M.: Mechanical Engineering. 1988. – pp. 144.
6. Razmyshlyayev, A.D. *Automatic Electric Arc Surfacing with Tape Electrode under Flux*: Monograph. – Mariupol: SHEI “PSTU”. – 2013. – pp. 180.
7. Sidashenko, A. I. Skoblo, T. S., Saichuk, A. V., Manilo, V.L. Theoretical substantiation of part heating temperature at mechanized surfacing along helical curve for thermomechanical treatment // *Bulletin of HNTUW*. – 2013. – Issue. 133. – pp. 15 – 22.
8. Lebedev, V.A., Lendel, I.V. Technological possibility researches in arc welding and surfacing with electrode wire emulsion feed // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – №9(51). – pp. 20–27.
9. Paton, B.E. *Technology of Metal and Alloy Electric Welding by Melting* – M.: Mechanical Engineering. 1974. – pp. 768.
10. Frumin, I.I. *Automatic Electric Arc Surfacing*. – Har-kov. 1961. – pp. 423.
11. Khlybov, A.A., Kolyvanov, V.V. Estimation procedure of propeller shaft technical state // *Bulletin of ASTU, Series.: Marine Techniques and Technology*. – 2010. – № 1. – pp. 167 – 171.

Рецензент д.т.н. В.В. Овчинников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
Учредитель ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
<http://www.ntmash.tu-bryansk.ru>  
Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: [naukatm@yandex.ru](mailto:naukatm@yandex.ru)  
Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбкова.  
Сдано в набор 15.07.2016. Подписано в печать 20.08.2016.  
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.  
Отпечатано в типографии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7