

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.791.927.5

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-9-4-12

Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, М.В. Перовская, В.М. Семенчук, А.С. Непомнящий

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА, ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ

Исследовано влияние режимов электродуговой наплавки покрытыми электродами Т590 и ЭН-60М на физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий, нанесенных на низколегированную сталь 09Г2С. Показано, что на характеристики теплопереноса существенное влияние оказывают энергетические параметры режима, а также алгоритм их изменения в низкочастотном диапазоне.

Для оценки степени влияния энергетических параметров применена тепловизионная съемка в

составе исследовательского диагностического комплекса регистрации быстро протекающих процессов теплопереноса. Установлено, что модифицирование структуры наплавляемых покрытий электродуговым импульсным воздействием позволяет повышать её однородность, дисперсность, твердость и износостойкость.

Ключевые слова: сталь, наплавка, электрод, параметр, покрытие, структура, свойство, износостойкость.

Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, M.V. Perovskaya, V.M.Semenchuk, A.S. Nepomnyashchy

IMPACT OF WELD DEPOSITION MODES UPON CHARACTERISTICS OF ELECTRODE METAL HEAT AND MASS TRANSFER, FORMATION OF STRUCTURE AND SURFACE PROPERTIES

The peculiarities of structure formation in coatings deposited under conditions of controlled heat and mass transfer with the pulse change of power parameters of the mode are considered.

It is shown that as a result of the pulse control of mode power parameters, in a coating there is observed of structural heterogeneity decrease on a coating section at the expense of the decrease of structural constituent dimensions in it that increases considerably of operation properties of strengthened products operated under conditions of low temperatures of the extreme North. The investigations are carried out with the use

of the complex of fast processes of heat and mass transfer that ensured high productivity of the investigation process at lower cost of time and material costs.

It is recommended for a wide range of experts in the field of modern physical material science, hydrodynamics, chemistry and mechanics of a deformable solid, reliability and technogenic safety, control of fast processes of the formation of permanent connections modified with pulse high-energy impact.

Key words: steel, weld deposition, electrode, parameter, coating, structure, property, wear-resistance.

Введение

При электродуговой наплавке свойства получаемых покрытий зависят от многих факторов, включая энергетические и технологические параметры, а также свойства и характеристики наплавочных электродов [1,2]. Отмеченная особенность обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик упрочняемых изделий, работающих в экстремальных климатических условиях, в том числе и низких климатических температур. Известно, что одним из наиболее эффективных приемов повышения эксплуатационных показате-

лей изделий с покрытиями является применение адаптивных импульсных технологических процессов [3], однако, применительно к упрочняющим технологиям, главное преимущество этих процессов – регулируемое тепловложение, которое изучено недостаточно хорошо. Это связано с отсутствием необходимых инструментальных способов исследований, позволяющих в условиях быстропротекающих процессов теплопереноса, обеспечивать не только синхронную регистрацию тепловых характеристик и энергетических

параметров режима, но и получение количественной оценки степени их влияния на эксплуатационные показатели обрабатываемых изделий. В настоящее время указанное несоответствие удалось преодолеть, поскольку был создан современный исследовательский комплекс, обладающий уникальными свойствами – выполнения одновременной регистрации, практически, всех характеристик тепломассопереноса в процессе

Методика эксперимента

В работе была применена тепловизионная съемка, реализованная в составе исследовательского диагностического комплекса регистрации быстро протекающих процессов тепломассопереноса [5]. Вышеуказанная методика регистрации характеристик тепломассопереноса в процессе формирования покрытия методами дуговой наплавки в режиме низкочастотной модуляции тока позволила получить объективную информацию об образовании покрытия в виде количественных показателей энергетических параметров режима, совмещенных с термическими циклами образования неразъемного соединения.

Исследования быстро протекающих процессов связаны с высокой скоростью тепломассопереноса при действии мощного излучения дуги. Для решения задач управления каплеобразованием, переносом электродного металла и кристаллизацией наплавочной ванны использовался контроль за изменением напряжения дуги, тока и мгновенной мощности дуги. Основные способы наплавки – ручная дуговая покрытыми электродами на постоянном токе прямой полярности, а также импульс-

Результаты исследований и их обсуждение

В таблице приведены количественные показатели, полученных обработкой осциллограмм напряжения и тока дуги процесса наплавки электродами Т-590 и ЭН-60М на постоянном токе (наплавка на постоянном токе «НПТ») и импульсном изменении энергетических параметров (наплавка в режиме модулированного тока «НМТ»). Характерные осциллограммы па-

цессе электродуговой наплавки и количественной оценки показателей режима [4].

Цель работы. Изучение влияния режимов наплавки на характеристики тепломассопереноса электродного металла, на формирование дисперсной структуры в покрытиях и повышение их свойств при модифицировании расплавленного металла методами импульсных энергетических воздействий.

но-дуговая наплавка в низкочастотном диапазоне изменения энергетических параметров режима. Для исследований влияния режимов наплавки на свойства получаемых покрытий в качестве обрабатываемой основы была использована сталь 09Г2С, толщиной 6 мм. Для наплавки были выбраны две марки электродов Т-590 и ЭН-60М, обеспечивающих нанесение покрытий в один и два слоя. В составе исследовательского комплекса был применен инверторный источник питания ФЭБ-315 «МАГМА», реализующий способ импульсно-дуговой наплавки [6]. В процессе наплавки частота модуляции тока регулировалась в пределах 1-5 Гц. Анализ микроструктуры основного металла, металла наплавленного слоя и зоны термического влияния (ЗТВ), производился с помощью металлографических микроскопов “Axio Observer D1m” и “Neophot-32”. Измерение микротвердости покрытий, металла ЗТВ и основного металла проводилось на микротвердомере *Leika* при нагрузке на индентор 1Н. Абразивная износостойкость покрытий определялась по ГОСТ 23.208-79.

раметров режимов тока и напряжения дуги при наплавке приведены на рис. 1. Результаты тепловизионных исследований в виде кривых термических циклов (КТЦ) поперек и вдоль оси наплавленного покрытия, а также вдоль зоны термического влияния, приведены на рис. 2. Структуры покрытий наплавленных электродами Т-590 и ЭН-60М представлены на рис. 3 и 4.

Таблица

Режимы наплавки покрытий на прямой полярности

№	Марка электрода, режим сварки	$U_{ср}$	$I_{ср}$	$I_{имп}$	$I_{п}$	$t_{и}$	$t_{п}$	$N_{кз}$	$T_{кз}, 10^{-3} с$	Kd	$I_{кз}$	q
1	Т-590 Ø4 (НПТ)	18,2	174,2	-	-	-	-	18	14,4	0,48	226	0,959
2	Т-590 Ø4 (НМТ)	18,7	179,6	200	60	0,3	0,3	61	8,6	0,24	292	0,790
3	ЭН-60М Ø3 (НПТ)	15,4	103,8	-	-	-	-	21	7,9	0,32	138	0,487
4	ЭН-60М Ø3 (НМТ)	15,5	99,7	110	40	0,3	0,3	43	6,1	0,29	153	0,452

$U_{ср}$ – среднее значение напряжения, В; $I_{ср}$ – среднее значение тока, А; $I_{имп}$, $I_{п}$ – ток импульса и паузы, А; $t_{и}$, $t_{п}$ – длительность импульса и паузы, с; $N_{кз}$ – число коротких замыканий, шт.; $T_{кз}$ – средняя длительность коротких замыканий, 10^{-3} с; Kd – коэффициент вариации длительности коротких замыканий; $I_{кз}$ – максимальный ток короткого замыкания, А; q – погонная энергия при сварке, кДж/мм.

Анализ количественных показателей режимов наплавки показывает, что один из основных показателей – частота коротких замыканий существенно изменяется при переходе от режима на постоянном токе (НПТ) к режиму с низкочастотной модуляцией энергетических параметров (НМТ). Так, например, если для технологического процесса наплавки электродами Т-590 методом НПТ, число коротких замыканий, регистрируемых на временном интервале их измерения, составляет 18, то для режима НМТ их число возрастает до 61, что соответствует увеличению более чем в 3 раза. При наплавке электродами ЭН-60-М, их число так же возрастает и составляет более чем в 2 раза. Увеличение числа коротких замыканий показывает, что перенос металла в процессе плавления происходит каплями меньшего размера, а, следовательно, имеющих пониженное теплосодержание.

Одновременно с этим уменьшается длительность интервалов коротких замыканий ($T_{кз}$) при переходе от режима НПТ к режиму НМТ: у электродов Т-590 в 1,67 раза, и у электродов ЭН-60М в 1,29 раза. При этом коэффициенты вариации длительностей коротких замыканий Kd уменьшаются со значений 0,48 и 0,32 до значений 0,24 и 0,29, соответственно. Меньшие значения коэффициентов вариации свидетельствуют о более высокой стабильности технологического процесса.

Однако, наиболее благоприятным фактором при оценке параметров режима, является уменьшение погонной энергии. В первом случае для электродов Т-590: при переходе от НПТ к НМТ значение погонной энергии уменьшается на 21%, а во втором при наплавке электродами ЭН-60М уменьшается на 7%.

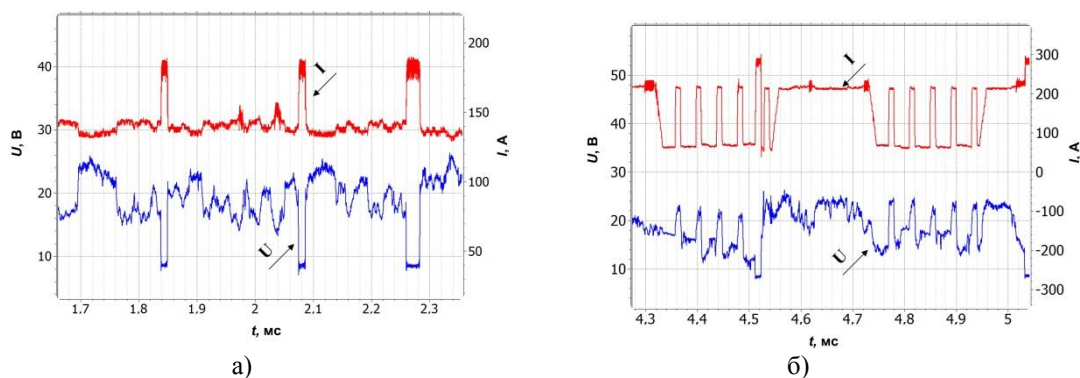


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения дуги в процессе наплавки электродами на постоянном токе: а, б – с импульсным изменением энергетических параметров

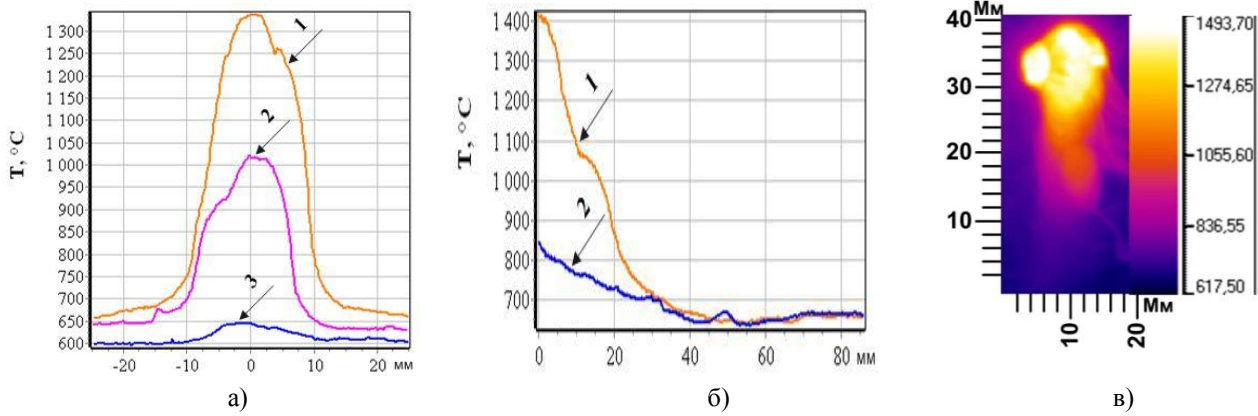
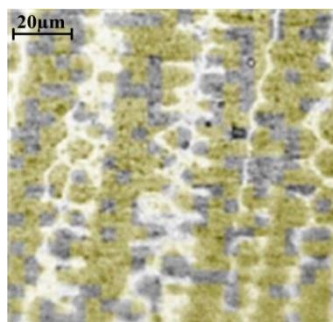


Рис. 2. Результаты тепловизионных исследований: а - КТЦ поперек наплавленного покрытия в диапазоне температур: 1 - 1400 °С, 2 - 1000 °С; 3 - 700 °С; б - КТЦ вдоль оси покрытия - 1, вдоль ЗТВ - 2; в - температурное поле при наплавке на постоянном токе

Анализ кривых термического цикла (КТЦ), построенных при обработке результатов тепловизионной съемки камерой высокого разрешения в области температур от 1800 °С до 600 °С (рис. 2 а, б), показывает, что искомую скорость изменения температуры, определяющей структурно-фазовое состояние металла покрытия, можно получить, непосредственно из самих КТЦ. Такие кривые могут быть построены для любого участка температурного поля, полученного при наплавке (рис. 2в). Так, например КТЦ, представленные на рис. 2 а, б, показывают, что для интересующей нас области, можно получить свои КТЦ, характерные для температурного поля вдоль оси центра шва (кривая 1), линии в ЗТВ, прилегающей к зоне сплавления со стороны основного металла (рис. 2б), или линий, характерных для значений температур: 1400 °С, 1000 °С и 700 °С, взятых поперек шва на участке, выделенном из температурного поля, сформированного в процессе формирования металла покрытия (рис. 2в), и представленных на рис. 2 а (кривые 1, 2 и 3).

а)



Комплексный анализ полученных результатов позволяет утверждать, что при переходе от режима НПТ к режиму НМТ имеет место смягчение режимов наплавки, что должно обеспечивать более мелкие размерные характеристики зеренной структуры в наплавляемых поверхностях и, как следствие, более высокие их механические характеристики.

Анализ микроструктуры ЗТВ показывает, что он состоит из участков зон перегрева с видманштеттовой структурой и нормализации с мелкозернистой феррито-перлитной структурой [7]. При использовании постоянного тока температура нагрева намного выше и формируются крупные зерна размером ≥ 100 мкм. Наибольшие значения микротвердости отмечаются вблизи зоны перегрева. При наплавке на постоянном токе формируется крупнодендритная структура наплавленного покрытия, а при использовании наплавки с низкочастотным изменением энергетических параметров - мелкодендритная.

б)

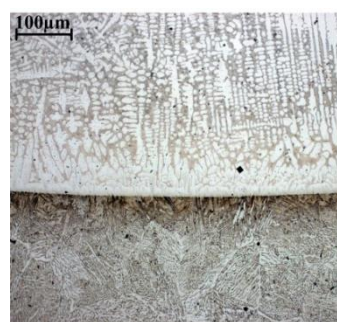


Рис. 3. Микроструктура наплавленного композиционного покрытия электродами Т-590 и границы с основой - сталь 09Г2С: а) покрытие, $\times 1000$; б) граница

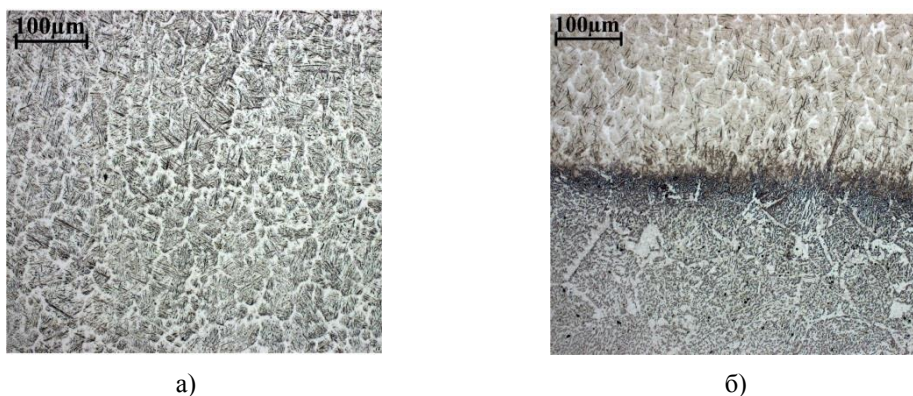


Рис. 4. Микроструктуры наплавленного композиционного покрытия электродами ЭН-60М (а) и (б) границы «покрытие - сталь 09Г2С»

При НПТ формируется более широкая зона (50 мкм) с более крупным размером зерна, чем при НМТ. Это является следствием более высокого тепловложения и продолжительности термического воздействия дуги постоянного тока на обрабатываемую поверхность. Изменение микротвердости на границах разделов покрытий и стали 09Г2С, нанесенных на режимах НПТ и НМТ, представлены на рис. 5.

Микротвердость покрытий наплавленных электродами Т-590 составляет 3500-3700 МПа. Гистограммы изменения микротвердости наплавленных покрытий, представлены на рис. 6. При НМТ формируется покрытие с более однородной и мелкозернистой структурой. Усредненное значение микротвердости наплавленного металла может превышать 4000 МПа.

Разрушение поверхности наплавленных покрытий при износе происходит путем многократного пластического деформирования, среза и выкрашивания частиц. Интенсивность изнашивания определяется скоростью движения абразивной среды, формой и свойствами абразивных частиц. Гистограммы среднего уровня износостойкости покрытий, наплавленных электродами Т-590 (а) и ЭН-60М (б) на режимах НПТ показаны на рис. 7. Показатели износостойкости покрытий нанесенных в ре-

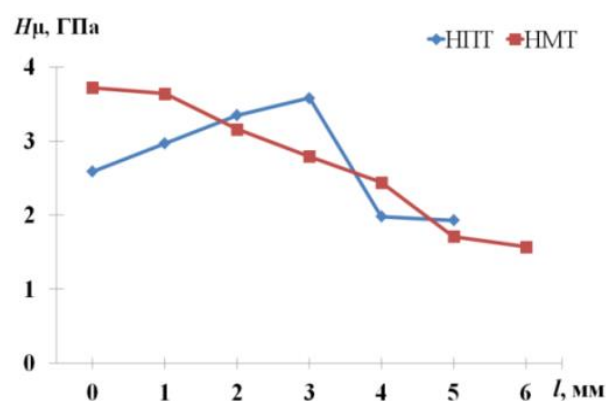


Рис. 5. Изменение микротвердости на границах разделов «наплавленное покрытие Т-590 - сталь 09Г2С» в режиме НПТ и в режиме НМТ

жиме НМТ выше, чем у покрытий, нанесенных в режиме НПТ. Это объясняется особенностями импульсно-дугового режима наплавки покрытий с интенсивным перемешиванием расплава и образованием новых центров кристаллизации [8-13], что способствует повышению показателей прочности наплавленных покрытий. Кроме того, применение импульсно-дуговой наплавки (НМТ) позволяет через программируемый ввод тепла в зону наплавки управлять процессами формирования металла покрытия из расплава, измельчать структуру металла покрытия и повышать его свойства: твердость наплавленного металла и износостойкость.

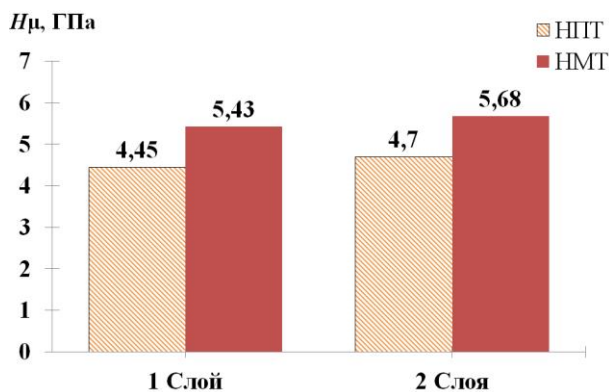


Рис. 6. Гистограммы среднего уровня микротвердости покрытий, аплавленных электродами ЭН-60М на режимах: НПТ и в режиме НМТ, выполненных в один и два слоя

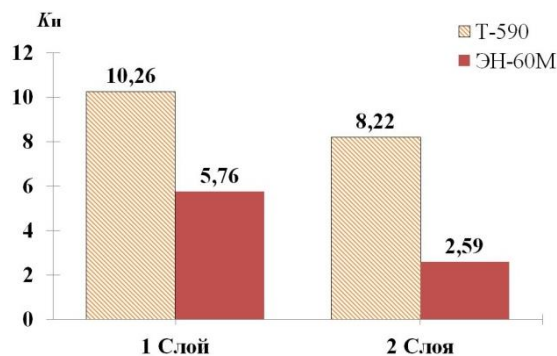


Рис. 7. Гистограммы среднего уровня износостойкости покрытий, наплавленных электродами Т-590 и ЭН-60М на режимах постоянного тока, выполненных в один и два слоя

Таким образом, выполненные в данной работе исследования доказывают перспективность методов наплавки, обеспечивающих достижение требуемых эксплуатационных характеристик у высоконагруженных изделий. При этом применение режимов НМТ способствуют изменению процессов расплавления и кристаллизации металла, а также большей химической однородности наплавленного слоя.

Результаты исследований были проверены при испытаниях деталей, восстановленных с применением дуговой наплавки на режимах НМТ. Рабочие элементы механизмов, эксплуатирующихся в

экстремальных климатических условиях Севера, подвергались интенсивному износу. Испытания восстановленных изделий, подтвердили, что восстановленные и упрочненные изделия обладают более высокими, по сравнению со штатными изделиями, эксплуатационными характеристиками. При этом увеличивается эксплуатационный ресурс изделий, что обеспечивает значительный экономический эффект от внедрения наплавочных материалов и разработанных ремонтно-восстановительных и упрочняющих обработок высоконагруженных изделий, работающих в условиях низких температур Севера [14].

Выводы

1. Предложен комплексный подход повышения свойств покрытий применением методов наплавки на режимах регулируемого тепловложения, способствующего модифицированию структуры и повышению эксплуатационных показателей обрабатываемых изделий.

2. Установлено, что управление энергетическими параметрами при наплавке позволяет обеспечить снижение структурной неоднородности по сечению покрытия за счет уменьшения в нем размеров структурных составляющих, что суще-

ственно повышает эксплуатационные свойства изделий, работающих в условиях низких температур Крайнего Севера.

3. Показано, что исследовательский диагностический комплекс регистрации быстропротекающих процессов тепломассопереноса, позволяет выполнить количественную оценку влияния энергетических параметров режима на характеристики тепломассопереноса, а также обеспечить высокую производительность исследовательского процесса при меньших временных и материальных затратах.

Работа выполнена в рамках Программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2018-2020 годы, проект Ш.23.2.1. Исследования выполнены с применением исследовательского диагностического комплекса разработанного и изготовленного за счет средств проектов РНФ №16-19-10010 и №16-19-10010-П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saraev, Yu.N. Distribution of residual stresses in welded joints in 09G2S steel produced by adaptive pulsed-arc welding / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A. Grigoryeva, N.I. Golikov, V.V. Dmitriev, I.I. Sannikov // *Welding International*. – 2015. – V. 29. – №. 2. – pp. 131-134.
2. Saraev, Yu.N. Effect of the Energy Parameters of the Welding Process on the Structure and Properties of welded Joints in low-alloy Steels / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov // *Welding International*. – 2013. – №. 9. – pp. 678-680.
3. Сараев, Ю. Н., Безбородов В. П., Гладковский С. В., Голиков Н.И. Повышение надежности металлических конструкций при эксплуатации в условиях низких климатических температур посредством комплексного применения современных методов модифицирования зоны сварного соединения / Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, С.В. Гладковский, Н.И. Голиков // *Сварочное производство*. – 2016. – № 9.
4. Сараев, Ю.Н. Кинетические особенности тепломассопереноса в условиях сварки и наплавки / Ю.Н. Сараев, А.Г. Лунев, В.М. Семенчук, А.С. Непомнящий // *Известия вузов «Физика»*. – 2019. – Т. 62. – № 9. – С. 34-40. DOI: 10.17223/0021341/16/9/34.
5. Saraev, Yu N. Control of structure and properties of deposited wear-resistant coatings by modification of the melt of the low frequency modulation take / Yu. N. Saraev, V. P. Bezborodov, M. V. Perovskaya, V. M. Semenchuk // *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures*. – 2019. – AIP Conf. Proc. 2167, 020306-1–020306-4; <https://doi.org/10.1063/1.5132173>. Published by AIP Publishing. 978-0-7354-1912-4/\$30.00
6. Патент № 2410216 Российской Федерации. Способ адаптивной импульсно-дуговой сварки / Сараев Ю.Н., Приоритет от 2008 г.
7. Сараев, Ю.Н. Управление структурой и свойствами сварных соединений технических систем ответственного назначения методами адаптивной импульсно-дуговой сварки / Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, А.А. Григорьева [и др.] // *Вопросы материаловедения*. – 2015. – № 1 (81). – С. 127-132.
8. Saraev, Y.N. Modification of Coatings by refractory Compound to Impresse the service Reliability of Components / Y.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A. Shtertser, V.Y. Ul'yaniyskii, A.M. Orishich, A.F. Pyushchenko, M.K. Skakov // *Welding International*. – 2012. – №. 11. – pp. 881-886.
9. Сараев, Ю.Н. Особенности формирования защитных коррозионно-стойких покрытий при импульсной электродуговой наплавке сталей аустенитного класса / Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, Ю.В. Селиванов // *Сварочное производство*. – 2009. – № 4. – С. 20 - 25.
10. Cantor, B. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys / B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight, A.J. B. Vincent // *Materials Science and Engineering*. – 2004. – P. 213 - 218.
11. Sheng Guo. Liu Effect of valence electron concentration on stability of fcc or bcc phase in high entropy alloys / Sheng Guo, Ng Chun, Lu Jian, C.T. // *Journal of Applied Physics*. – 2011.- V. 109. – № 10. – pp. 103505.
12. Sheng Guo. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase / Sheng Guo, C.T. Liu // *Progress in Science: Materials International*. – 2011. – V. 21. – pp. 433 - 446.
13. Jien Wei Yeh. Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements / Jien Wei Yeh, Shou Yi Chang Yu Der, Hong, Swe Kai Chen, Su Jien Lin // *Materials Chemistry and Physics*. – 2007. – V. 103. – pp. 41-46.
14. Голиков, Н.И. Повышение износостойкости деталей землеройной техники, эксплуатирующихся в условиях холодного климата / Н.И. Голиков, Ю.Н. Сараев, Е.М. Максимова, С.В. Семёнов // *Упрочняющие технологии*. – 2018. – Т. 14. – № 12. – С. 543 - 547.
1. Saraev, Yu.N. Distribution of residual stresses in welded joints in 09G2S steel produced by adaptive pulsed-arc welding / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A. Grigoryeva, N.I. Golikov, V.V. Dmitriev, I.I. Sannikov // *Welding International*. – 2015. – V. 29. – №. 2. – pp. 131-134.
2. Saraev, Yu.N. Effect of the Energy Parameters of the Welding Process on the Structure and Properties of welded Joints in low-alloy Steels / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov // *Welding International*. – 2013. – №. 9. – pp. 678-680.
3. Saraev, Yu.N., Bezborodov, V.P., Gladkovsky, S.V., Golikov, N.I. Increase of metal structure reliability at operation under conditions of low climatic temperatures by means of complex use of modern methods for weld area modification / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, S.V. Gladkovsky, N.I. Golikov // *Weld Production*. – 2016. – No.9.
4. Saraev, Yu.N., Kinetic peculiarities of heat and mass transfer under conditions of welding and weld deposition / Yu.N. Saraev, A.G. Lunev, V.M. Semenchuk, A.S. Nepomnyashchy // *“Physics” Proceedings of Colleges*. – 2019. – Vol.62. – No.9. – pp. 34-40. DOI: 10.17223/0021341/16/9/34.
5. Saraev, Yu N. Control of structure and properties of deposited wear-resistant coatings by modification of the melt of the low frequency modulation take / Yu. N. Saraev, V. P. Bezborodov, M. V. Perovskaya, V. M. Semenchuk // *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures*. – 2019. – AIP Conf. Proc. 2167,

- 020306-1–020306-4;
<https://doi.org/10.1063/1.5132173>. Published by AIP Publishing. 978-0-7354-1912-4/\$30.00
6. Patent No. 2410216 the Russian Federation. *Method of Adaptive Pulse-Arc Welding* / Saraev Yu.N., Priority since 2008.
 7. Saraev, Yu.N. Control of structure and properties of weld joints of critical engineering systems by methods of adaptive pulse-arc welding / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A. Grigorieva [et al.] // *Matters of Materials Science*. – 2015. – No.1 (81). – pp. 127-132.
 8. Saraev, Y.N. Modification of Coatings by refractory Compound to Impresse the service Reliability of Components / Y.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A. Shtertser, V.Y. Ul'yaniyskii, A.M. Orishich, A.F. Il'yushchenko, M.K. Skakov // *Welding International*. - 2012. - №. 11. - P. 881-886.
 9. Saraev, Yu.N. Peculiarities of protective corrosion-resistant coating formation at pulse electric-arc surfacing austenitic steels / Yu.N. Saraev, V.P. Bezborodov, Yu.V. Selivanov // *Welding Production*. – 2009. No.4. – pp. 20-25.
 10. Cantor, B. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys / B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight, A.J. B. Vincent // *Materials Science and Engineering*. - 2004. - pp. 213 - 218.
 11. Sheng Guo. Liu Effect of valence electron concentration on stability of fcc or bcc phase in high entropy alloys / Sheng Guo, Ng Chun, Lu Jian, C.T. // *Journal of Applied Physics*. – 2011. – V. 109. – № 10. – P. 103505.
 12. Sheng Guo. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase / Sheng Guo, C.T. Liu // *Progress in Science: Materials International*. – 2011. – V. 21. – pp. 433-446.
 13. Jien Wei Yeh. Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements / Jien Wei Yeh, Shou Yi Chang Yu Der, Hong, Swe Kai Chen, Su Jien Lin // *Materials Chemistry and Physics*. – 2007. – V. 103. - pp. 41-46.
 14. Golikov, N.I. Wear-resistance increase for parts of digging equipment operated under cold climate conditions / N.I. Golikov, Yu.N. Saraev, E.M. Maximova, S.V. Semyonov // *Strengthening Technologies*. – 2018. – Vol. 14. – No.12. – pp. 543-547.

Ссылка для цитирования:

Сараев, Ю.Н. Влияние режимов наплавки на характеристики теплопереноса электродного металла, формирование структуры и свойств покрытий / Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, М.В. Перовская, [и др.] // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2020. – №9. – С. 4-12. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-9-4-12.

Статья поступила в редакцию 19.04.20.

Рецензент: д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, лауреат премий Президента и Правительства РФ, Степанов Ю.С., член редсовета журнала «Вестник БГТУ». Статья принята к публикации 31.08.20.

Сведения об авторах:

Сараев Юрий Николаевич, д.т.н., доцент, гл. науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), тел.: 8 (3822) 490-426, 8-963-193-55-73, e-mail: litsin@ispms.tsc.ru.

Безбородов Валерий Павлович, к.т.н., ст. науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), тел.: 8 (3822)286-850, 8 (3822) 491-078, e-mail: val@ispms.tsc.ru.

Перовская Марина Владимировна, к.т.н., науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов

Saraev Yury Nikolaevich, Dr. Sc. Tech., Assistant Prof., Chief research assistant of “Laboratory of Composites”, Institute of Strength Physics and Material Science, Siberian Branch of RAS (IPP SB RAS), phone: 8 (3822) 490-426, 8-963-193-55-73, e-mail: litsin@ispms.tsc.ru.

Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), тел.: 8-913-818-88-84, e-mail: mv_perovskaya@inbox.ru.

Семенчук Вячеслав Максимович, мл. науч. сотрудник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), тел.: 8-913-826-15-33, e-mail: svm_70@ispms.tsc.ru.

Непомнящий Александр Сергеевич, техник лаборатории композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), тел.: 8-913-862-94-36, e-mail: asn39@tpu.ru.

Bezborodov Valery Pavlovich, Can. Sc. Tech., Senior research assistant, of “Laboratory of Composites”, Institute of Strength Physics and Material Science, Siberian Branch of RAS (IPP SB RAS), phone: 8 (3822) 286-850, 8 (3822) 491-078, e-mail: val@ispms.tsc.ru.

Perovskaya Marina Vladimirovna, Can. Sc. Tech., Research assistant, of “Laboratory of Composites”, Institute of Strength Physics and Material Science, Siberian Branch of RAS (IPP SB RAS), phone: 8-913-818-88-84, e-mail: mv_perovskaya@inbox.ru.

Semenchuk Vyacheslav Maximovich, Junior research assistant, of “Laboratory of Composites”, Institute of Strength Physics and Material Science, Siberian

Branch of RAS (IPP SB RAS), phone: 8-913-826-15-33, e-mail: svm_70@ispms.tsc.ru.

Nepomnyashchy Alexander Sergeevich, Technician of “Laboratory of Composites”, Institute of Strength Physics and Material Science, Siberian Branch of RAS (IPP SB RAS), phone: 8-913-862-94-36, e-mail: asn39@tpu.ru.