

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ НАПЛАВКИ, ОБЛУЧЕННОЙ ИНТЕНСИВНЫМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

© 2017

Ю.А. Рубанникова, студент

В.Е. Громов, доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля

Д.А. Косинов, кандидат технических наук, докторант

В.Е. Кормышев, аспирант

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк (Россия)

Ключевые слова: сталь Hardox 450; наплавка; электронно-пучковая технология; импульсная обработка; микротвердость.

Аннотация: Для обоснованного выбора материала покрытий, соответствующих условиям эксплуатации изделий, и режимов последующей электронно-пучковой обработки исследованы микротвердость, модуль Юнга и микроструктура модифицированного поверхностного слоя, наплавленного на мартенситную низкоуглеродистую сталь Hardox 450 высокоуглеродистыми порошковыми проволоками различного химического состава (№ 258 (NbC-G), № 720 (DT-DUR), № 760 (DT-DUR)) и дополнительно модифицированного путем облучения интенсивным импульсным электронным пучком двухступенчатым методом. Формирование наплавленного слоя на поверхность стали осуществляли в среде защитного газа, содержащего 98 % Ar, 2 % CO₂, при сварочном токе 250–300 А и напряжении на дуге 30–35 В. Модифицирование наплавленного слоя осуществляли путем облучения поверхности наплавленного слоя высокоинтенсивным электронным пучком в режиме плавления и высокоскоростной кристаллизации. Нагрузка на индентор составляла 50 мН. Определение микротвердости модуля Юнга проводили в 30 произвольно выбранных точках модифицированной поверхности наплавки. Структуру поверхности модифицированной электронным пучком наплавки изучали методами сканирующей электронной микроскопии. Установлено, что повышение прочностных свойств модифицированного электронным пучком наплавленного слоя обусловлено формированием субмикроразмерной структуры, упрочнение которой вызвано закалочным эффектом и наличием включений второй фазы (бориды, карбобориды, карбиды). Выявлено, что максимальный упрочняющий эффект наблюдается при наплавке порошковой проволокой, содержащей 4,5 % бора. Показано, что на поверхности наплавки, сформированной проволокой, в элементный состав которой входит 4,5 % бора, и дополнительно облученной интенсивным импульсным электронным пучком, формируются системы микротрещин. Поверхностные наплавки, сформированные порошковыми проволоками, не содержащими бор, после импульсной обработки электронным пучком показали отсутствие микротрещин на модифицированной поверхности. Установлен значительный разброс значений нанотвердости и модуля Юнга, что обусловлено, очевидно, неоднородным распределением упрочняющих фаз.

ВВЕДЕНИЕ

Создание новых материалов, обладающих высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, связано с получением оптимального сочетания структур, наличием равномерного распределения по объему легирующих элементов, обеспечивающих высокие технологические свойства. В основе создания материалов с заданными свойствами лежат два основных подхода: изменение химического состава и формирование необходимой структуры материала. На этих же принципах основаны методы упрочнения поверхностей за счет модифицирования слоя материала (без изменения геометрических размеров детали) и нанесения покрытия на поверхность детали, когда размеры детали изменяются на величину нанесенного слоя покрытия. В первом случае изменяются или структура материала в поверхностном слое, или химический состав и распределение элементов по глубине слоя, или одновременно и то, и другое [1–3]. Во втором случае главным фактором, определяющим упрочнение, является выбранный материал покрытия, отличающийся от основного материала детали и обеспечивающий требуемые свойства поверхности [4; 5].

Для защиты металлов и сплавов от различных видов внешних воздействий: износа, коррозии, высоких тем-

ператур, статических и динамических нагружений – используются лазерные, плазменные, электронно-лучевые, электродуговые и другие методы нанесения покрытий. Большую практическую значимость имеют покрытия, сочетающие в себе ряд свойств, например износостойкость и коррозионную стойкость [6]. Подобные покрытия могут быть получены методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки на ускорителе релятивистских электронов. Метод электронно-лучевой наплавки и результаты исследований подобных покрытий описаны в работах [7–9].

В работе [6] в качестве подложки для наплавки использовалась низкоуглеродистая листовая сталь Ст3, на которую наплавливали однослойные покрытия из предварительно нанесенных на поверхность порошковых смесей хрома с карбидом бора В₄С (в соотношении 1:3). Показано, что наивысшая износостойкость наплавленных покрытий достигается при образовании в них заэвтектической структуры с высокотвердыми первичными выделениями карбидных и карбоборидных фаз. Износостойкие покрытия обладают и повышенной коррозионной стойкостью. Дополнительный рост коррозионной стойкости возможен за счет снижения износостойкости – за счет увеличения количества хрома в твердом растворе (доэвтектическая структура).

Для этой же стали Ст3 применение в качестве наплавочного материала порошка карбида вольфрама приводит к формированию разнообразных структурно-фазовых состояний, определяемых концентрацией вольфрама и углерода в покрытии, энергией излучения и скоростью охлаждения наплавленного металла.

Перспективным способом модифицирования структуры поверхностного слоя изделий из различных материалов с целью повышения их эксплуатационных характеристик в настоящее время является электронно-пучковая импульсная обработка. Электронно-пучковая технология обладает большими возможностями контроля и регулирования количества подводимой к обрабатываемой поверхности энергии, отличается высокой локальностью распределения энергии в приповерхностном слое обрабатываемого материала и высоким коэффициентом полезного действия [10]. Использование импульсных электронных пучков в качестве средства модификации металлов и сплавов приводит к существенному изменению структурно-фазового состояния поверхностных слоев и, как следствие, к увеличению коррозионной стойкости, износостойкости и микротвердости, усталостной долговечности, недостижимому при традиционных методах поверхностной обработки.

При взаимодействии интенсивного импульсного электронного пучка с веществом имеют место: 1) сверхбыстрое нагревание мишени, сопровождающееся плавлением и испарением поверхностного слоя материала и десорбцией газа с поверхности материала; 2) перемешивание поверхностного слоя материала вследствие гидродинамических процессов и образование рельефа на поверхности в расплавленном слое; 3) ионизация десорбированных газов и паров материала мишени с формированием плазмы и ионных потоков; 4) сверхбыстрое охлаждение поверхности, способствующее изменению элементного и фазового состава, дефектной субструктуры, прочностных, усталостных, коррозионных и других свойств поверхностного слоя материала [11; 12]. Следует ожидать, что использование электронных пучков (импульсных низкоэнергетических, высокоинтенсивных плотных электронных пучков) приведет к дальнейшему развитию комбинированных технологий упрочнения металлов и сплавов и позволит достигать эффектов, которые не могут быть реализованы с использованием альтернативных методов [13]. В ряде работ показано, что минимальной нагрузкой при наноиндентировании, когда эффект масштабной зависимости твердости (эффект малых нагрузок) существенно снижен, является нагрузка в 50 мН [14–16], поэтому в настоящей работе нагрузку на индентор выбрали равной 50 мН [17; 18].

Статья направлена на изучение повышения стойкости металлургического оборудования электродуговой наплавкой износостойких порошковых проволок. Цель работы – анализ механических свойств слоя, сформированного на стали Hardox 450 электродуговой наплавкой проволокой различного элементного состава и дополнительно облученного интенсивным импульсным электронным пучком.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала основы использовали сталь марки Hardox 450, элементный состав которой пред-

ставлен в таблице 1. Формирование наплавленного слоя осуществляли проволоками № 760 (DT-DUR) (вес. %: 1,4 C; 1,0 V; 7,0 Cr; 8,0 Nb; 1,2 W; остальное Fe), № 258 (NbC-G) (вес. %: 1,3 C; 7,0 Cr; 8,5 Nb; 1,4 W; 0,9 Mn; 1,1 Si; остальное Fe), № 720 (DT-DUR) (вес. %: 0,7 C; 2,0 Mn; 1,0 Si; 2,0 Ni; 4,5 B; остальное Fe).

Таблица 1. Элементный состав стали Хардокс (Hardox) 450 (вес. %, остальное Fe)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	P	S
0,19–0,26	0,70	1,60	0,25	0,25	0,25	0,004	0,025	0,010

Наплавку упрочняющего слоя осуществляли методом MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas – дуговая сварка плавящимся металлическим электродом с автоматической подачей присадочной проволоки) в среде газа (Ar – 98 %, CO₂ – 2 %) при сварочном токе 250–300 А и напряжении 30–35 В. Модифицирование наплавленного слоя осуществляли, облучая поверхность наплавленного слоя высокоинтенсивным электронным пучком на установке «СОЛО» в режиме плавления и высокоскоростной кристаллизации. Механические испытания модифицированной поверхности осуществляли, определяя микротвердость и модуль Юнга (ультрамикротвердомер Shimadzu DУН-211S; алмазный индентор в виде пирамиды Берковича). Определение данных характеристик материала осуществляли в 30 произвольно выбранных точках модифицированной поверхности наплавки. Микроструктуру модифицированного поверхностного слоя изучали методами сканирующей электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп SEM-515 Philips). Исходные значения микротвердости и модуля Юнга для стали марки Hardox 450 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные значения микротвердости и модуля Юнга для стали марки Hardox 450

Марка стали	Микротвердость, ГПа	Модуль Юнга, ГПа
Hardox 450	4,5	200

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Средние значения (усреднение проводилось по 30 выполненным уколам) микротвердости и модуля Юнга поверхностного слоя наплавленного металла, облученного интенсивным импульсным электронным пучком, приведены в таблице 3. Анализ представленных результатов показывает, что наибольшей микротвердостью обладает металл наплавки, сформированной проволокой марки № 720 (DT-DUR), характерным отличием которой от двух других проволок является легирование бором. Известно, что борированные слои, сформированные на поверхности стали, обладают исключительно высокой микротвердостью и высоким сопротивлением

Таблица 3. Средние значения микротвердости и модуля Юнга поверхностного слоя наплавленного металла, облученного интенсивным импульсным электронным пучком (σ – среднеквадратическое отклонение измеряемой величины)

Марка наплавочной проволоки	Микротвердость, ГПа		Модуль Юнга, ГПа	
	$\langle H \rangle$	σ	$\langle E \rangle$	σ
760	6,17	1,48	221,3	29,0
258	13,00	2,20	260,3	33,1
720	20,83	2,53	347,7	26,6

абразивному износу вследствие образования на поверхности высокотвердых боридов железа – FeB и Fe₂B [19].

Отрицательным свойством борированных слоев является их высокая хрупкость [20; 21]. Действительно, выполненные в настоящей работе исследования поверхности наплавки, сформированной проволокой марки № 720 (DT-DUR), в элементный состав которой входит бор (4,5 вес. %), и дополнительно облученной интенсивным импульсным электронным пучком, выявили формирование на поверхности облучения системы микротрещин, характерное изображение которых приведено на рис. 1 а. Для сравнения на рис. 1 б приведено изображение поверхности слоя, наплавленного на сталь Hardox 450 проволокой марки № 760 (DT-DUR), в составе которой бор отсутствует. Отчетливо видно, что дополнительная обработка наплавленного слоя интенсивным импульсным электронным пучком не привела к формированию микротрещин на модифицированной поверхности наплавки.

Очевидно, что прочностные характеристики стали определяются состоянием дефектной субструктуры материала. На рис. 2 приведены характерные электронно-микроскопические изображения поверхности наплавки, сформированной на стали Hardox 450 наплавочной проволокой марки № 760 (DT-DUR) и дополнительно облученной интенсивным импульсным электронным пучком.

Анализируя результаты, представленные на рис. 2, можно отметить, что поверхностный слой наплавленного металла имеет структуру, размеры кристаллитов ко-

торой изменяются от десятых долей микрометра до единиц микрометра. Следует ожидать, что при исследовании дефектной субструктуры стали приборами с большим, чем сканирующая электронная микроскопия, разрешением можно будет выявить структурные элементы (частицы карбидной фазы) нанометрового размерного диапазона, что обусловлено сверхвысокими скоростями охлаждения поверхности слоя материала, облученного интенсивным импульсным электронным пучком микросекундной (50 мкс) длительности воздействия.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, показано, что электронно-пучковая обработка сопровождается кратным увеличением микротвердости и модуля Юнга поверхностного модифицированного слоя относительно основы (сталь Hardox 450). Установлено, что повышение прочностных свойств модифицированного электронным пучком наплавленного слоя обусловлено формированием субмикроразмерной структуры, упрочнение которой, предположительно, вызвано закалочным эффектом и наличием включений вторых фазы (бориды, карбобориды, карбиды). Выявлено, что максимальный упрочняющий эффект наплавленного слоя наблюдается при легировании материала бором. Одновременно с этим легирование наплавленного слоя бором приводит к его охрупчиванию. Показано, что формирующаяся структура характеризуется существенным разбросом значений твердости, что, очевидно, обусловлено неоднородным распределением упрочняющих фаз.

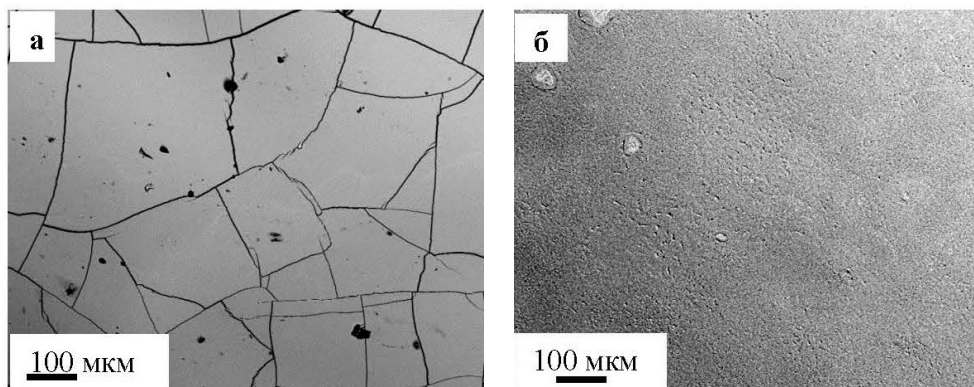


Рис. 1. Структура поверхности наплавленного на сталь Hardox 450 слоя, дополнительно облученного интенсивным импульсным электронным пучком; слой сформирован: а – наплавочной проволокой марки № 720 (DT-DUR); б – наплавочной проволокой марки № 760 (DT-DUR). Сканирующая электронная микроскопия

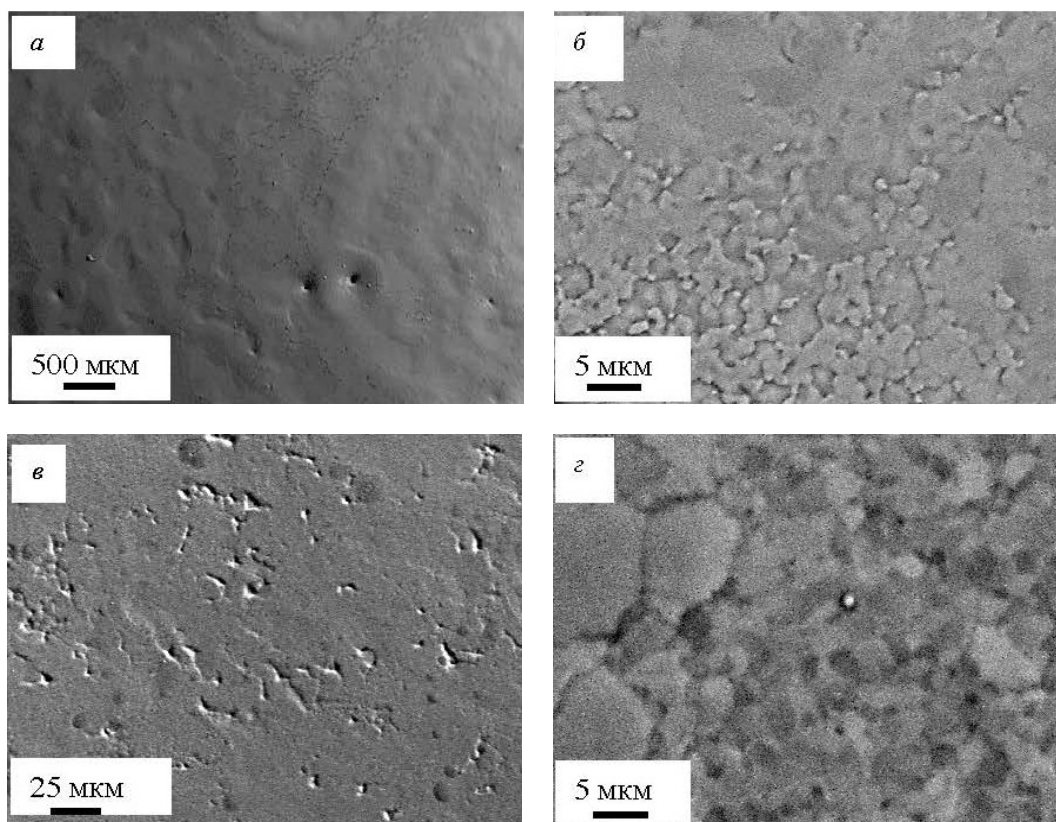


Рис. 2. Структура поверхности наплавленного на сталь Hardox 450 слоя, дополнительно облученного интенсивным импульсным электронным пучком, наплавочная проволока марки № 760 (DT-DUR): а – 500 мкм от поверхности наплавленного слоя; б, г – 5 мкм от поверхности наплавленного слоя; в – 25 мкм от поверхности наплавленного слоя. Сканирующая электронная микроскопия

Исследования выполнены за счет средств гранта РФФИ (проект № 15-19-00065). Электронно-пучковая обработка наплавленного слоя выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-49-700659 р_а).

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. М.: Машиностроение, 1985. 239 с.
2. Сараев Ю.Н. Разработка и внедрение новых инновационных технологических решений в сварке и наплавке – эффективный путь повышения производительности машиностроительных производств // Новые технологии, материалы и инновации в производстве. Усть-Каменогорск, 2009. С. 70–73.
3. Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Селиванов Ю.В. Особенности формирования защитных коррозионностойких покрытий при импульсной электродуговой наплавке сталей аустенитного класса // Сварочное производство. 2009. № 4. С. 20–25.
4. Сараев Ю.Н., Селиванов Ю.В. Оптимизация режимов импульсно-дуговой наплавки коррозионностойких покрытий // Сварочное производство. 2009. № 6. С. 3–9.
5. Сараев Ю.Н., Селиванов Ю.В. Оптимизация режимов и техники нанесения коррозионностойких покрытий электродуговой наплавкой в режиме импульсного изменения энергетических параметров технологического процесса // Новые промышленные технологии. 2009. № 4. С. 15–21.
6. Полетика И.М., Макаров С.А., Тетюцкая М.В., Крылова Т.А. Электронно-лучевая наплавка износостойких и коррозионностойких покрытий на низкоуглеродистую сталь // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 2. С. 86–89.
7. Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В., Беляков Е.Н., Салимов Р.А., Батаев В.А., Сазанов Ю.А. Формирование коррозионностойких покрытий методом наплавки в пучке релятивистских электронов // Перспективные материалы. 2006. № 2. С. 80–86.
8. Полетика И.М., Иванов Ю.Ф., Голковский М.Г., Перовская М.В. Структура и свойства покрытий, полученных электронно-лучевой наплавкой вне вакуума // Физика и химия обработки материалов. 2007. № 6. С. 48–56.
9. Полетика И.М., Крылова Т.А., Перовская М.В., Иванов Ю.Ф., Гнусов С.Ф., Голковский М.Г. Структура и механические свойства металла вневакуумной электронно-лучевой наплавки до и после термической обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 4. С. 44–53.
10. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой

- обработке // Известия вузов. Физика. 2008. Т. 51. № 5. С. 60–70.
11. Капралов Е.В., Райков С.В., Будовских Е.А., Громов В.Е., Костерев В.Б. Повышение износостойкости стали наплавкой // Сталь. 2014. № 7. С. 86–88.
 12. Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. Низкоэнергетические электронные пучки субмиллисекундной длительности: получение и некоторые аспекты применения в области материаловедения // Структура и свойства перспективных металлических материалов. Томск: НТЛ, 2007. С. 345–382.
 13. Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Коновалов С.В., Кормышев В.Е. Структура и свойства износостойких наплавов, модифицированных электронно-пучковой обработкой. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. 207 с.
 14. Oliver W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // Journal of Materials Research. 1992. Vol. 7. № 6. P. 1564–1583.
 15. Мильман Ю.В., Голубенко А.А., Дуб С.Н. Определение нанотвердости при фиксированном размере отпечатка твердости для устранения масштабного фактора // Вопросы атомной науки и техники. 2015. Т. 96. № 2. С. 171–177.
 16. Rotshtein V., Ivanov Yu., Markov A. Surface treatment of materials with low-energy, high-current electron beams // Materials surface processing by directed energy techniques. Elsevier, 2006. P. 205–240.
 17. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Vorobiev S.V., Kononov S.V. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams. Cambridge: Cambridge international science publishing, 2015. 272 p.
 18. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 312 с.
 19. Teker T., Karatas S., Osman Yilmaz S. Microstructure and wear properties of AISI 1020 steel surface modified by HARDOX 450 and FeB powder mixture // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2014. Vol. 50. № 1. P. 94–103.
 20. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. М.: Атомиздат, 1975. 376 с.
 21. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / под ред. Л.С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 424 с.
 22. Sarayev Yu.N., Selivanov Yu.V. Optimization of regimes and techniques for applying corrosion-resistant coatings by electric arc surfacing in the regime of pulsed changes in the energy parameters of the technological process. *Novye promyshlennye tekhnologii*, 2009, no. 4, pp. 15–21.
 23. Poletika I.M., Makarov S.A., Tetyutskaya M.V., Krylova T.A. Electron-beam welding of wear and corrosion resistant coverings to low-carbon steel. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university*, 2012, vol. 321, no. 2, pp. 86–89.
 24. Poletika I.M., Golkovsky M.G., Perovskaya M.V., Belyakov E.N., Salimov R.A., Bataev V.A., Sazanov Yu.A. Producing of corrosion-proof coatings by surfacing method in relativistic electron beam. *Perspektivnye materialy*, 2006, no. 2, pp. 80–86.
 25. Poletika I.M., Ivanov Yu.F., Golkovsky M.G., Perovskaya M.V. Structure and properties of coatings produced by electron-beam surfacing without vacuum. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*, 2007, no. 6, pp. 48–56.
 26. Poletika I.M., Krylova T.A., Perovskaya M.V., Ivanov Yu.F., Gnyusov S.F., Golkovsky M.G. The structure and the properties of coatings obtained by the electron-beam surfacing out of vacuum before and after thermal treatment. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2008, no. 4, pp. 44–53.
 27. Koval' N.N., Ivanov Yu.F. Nanostructuring of surfaces of metaloceramic and ceramic materials by electron-beams. *Russian physics journal*, 2008, vol. 51, no. 5, pp. 505–516.
 28. Kapralov E.V., Raykov S.V., Budovskikh E.A., Gromov V.E., Kosterev V.B. Increasing the wear resistance of steel by cladding. *Stal'*, 2014, no. 7, pp. 86–88.
 29. Ivanov Yu.F., Koval' N.N. Low-energy electron beams of submillisecond duration: obtaining and some aspects of application in the field of materials science. *Struktura i svoystva perspektivnykh metallicheskiykh materialov*. Tomsk, NTL Publ., 2007, pp. 345–382.
 30. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Kononov S.V., Kormyshev V.E. *Struktura i svoystva iznosostoykikh naplavok, modifitsirovannykh elektronno-puchkovoy obrabotkoy* [Structure and properties of wear-resistant surfacing, modified by electron beam treatment]. Novokuznetsk, SibGIU Publ., 2017. 207 p.
 31. Oliver W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *Journal of Materials Research*, 1992, vol. 7, no. 6, pp. 1564–1583.
 32. Milman Yu.V., Golubenko A.A., Dub S.N. Determination of nanohardness at a fixed size of hardness indent for the elimination of the size factor. *Problems of atomic science and technology*, 2015, vol. 96, no. 2, pp. 171–177.
 33. Rotshtein V., Ivanov Yu., Markov A. Surface treatment of materials with low-energy, high-current electron beams. *Materials surface processing by directed energy techniques*. Elsevier, 2006, pp. 205–240.
 34. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Vorobiev S.V., Kononov S.V. *Fatigue of steels modified by high intensity electron beams*. Cambridge, Cambridge international science publishing, 2015. 272 p.

REFERENCES

1. Hasui A., Morigaki O. *Naplavka i napylenie* [Surfacing and spraying]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 239 p.
2. Saraev Yu.N. Development and introduction of new innovative technological solutions in welding and surfacing is an effective way to increase the productivity of machine-building production. *Novye tekhnologii, materialy i innovatsii v proizvodstve*. Ust'-Kamenogorsk, 2009, pp. 70–73.
3. Sarayev Yu.N., Bezborodov V.P., Selivanov Yu.V. Protective corrosion-resistant covering formation features at pulse electroarc welding of the austenitic steels. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2009, no. 4, pp. 20–25.
4. Sarayev Yu.N., Selivanov Yu.V. Optimization of the pulse-arc corrosion-resistant surfacing conditions. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2009, no. 6, pp. 3–9.

18. Golovin Yu.I. *Nanoindentirovanie i ego vozmozhnosti* [Nanoindentation and its capabilities]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 312 p.
19. Teker T., Karatas S., Osman Yilmaz S. Microstructure and wear properties of AISI 1020 steel surface modified by HARDOX 450 and FeB powder mixture. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 94–103.
20. Samsonov G.V., Serebryakova T.I., Neronov V.A. *Boridy* [Borids]. Moscow, Atomizdat Publ., 1975. 376 p.
21. Lyakhovich L.S., ed. *Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov* [Chemical-thermal treatment of metals and alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1981. 424 p.

**THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF SURFACING SURFACE IRRADIATED
BY THE INTENSIVE LOW-ENERGY PULSED ELECTRON BEAM**

© 2017

Yu.A. Rubannikova, student

V.E. Gromov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,
Head of Professor V.M. Finkel Chair of Natural Sciences

D.A. Kosinov, PhD (Engineering), doctoral candidate

V.E. Kormyshev, postgraduate student

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk (Russia)

Keywords: Hardox 450 steel; surfacing; electron-beam technology; impulse processing; microhardness.

Abstract: To substantiate the selection of a coatings material conforming to the operating conditions of the products and the subsequent electron-beam processing conditions, the authors studied the microhardness, Young's modulus and the microstructure of modified surface layer deposited on the martensitic low-carbon Hardox 450 steel with the high-carbon powder wires of various chemical composition (No. 258 (NbC-G), No. 720 (DT-DUR), No. 760 (DT-DUR)) and further modified by the irradiation with the intense pulsed electron beam using the two-step method. The formation of fused layer on steel surface was carried out in the shielding gas environment containing 98 % Ar, 2 % CO₂, with the welding current of 250–300 A and the arc voltage of 30–35 V. The modifying of a fusion layer was carried out by irradiating the fusion layer surface with a high-intensity electron beam in the mode of melting and high-speed crystallization. The load on the indenter was 50 mN. The Young's modulus microhardness was determined in 30 arbitrarily selected points of the modified surfacing surface. The structure of modified by electron beam surfacing surface was studied with the scanning electron microscopy methods. It is determined that the increase in strength properties of the modified by the electron beam weld layer is caused by the formation of a sub-microsized structure, the hardening of which is caused by the quenching effect and the presence of the second phase inclusions (borides, carboborides, carbides). It was found that the maximum hardening effect is observed when surfacing with a flux-cored wire containing 4.5 % of boron. The study shows that the microcracks systems are formed on the surfacing surface formed by a wire, the elemental composition of which includes 4.5 % of boron, and additionally irradiated with the intense pulsed electron beam. While the surface surfacing formed by the powdered wires free of boron after the pulsed electron beam treatment demonstrated the absence of microcracks on the modified surface. The authors determined the significant spread in nanohardness and Young's modulus values that was apparently conditioned by the nonuniform distribution of strengthening phases.