

# СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, НАПЛАВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ НА СТАЛЬ С МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРОЙ\*

*С.В. РАЙКОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник  
Е.С. ВАЩУК, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
Т.Ю. КОБЗАРЕВА, аспирант  
Е.А. БУДОВСКИХ, доктор техн. наук, профессор  
В.Е. ГРОМОВ, доктор физ.-мат. наук, профессор  
(СибГИУ, г. Новокузнецк)*

Поступила 24 мая 2013  
Рецензирование 10 июля 2013  
Принята к печати 15 июля 2013

**Райков С.В.** – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
e-mail: budovskih\_ea@physics.sibsiu.ru

Методами световой микроскопии исследованы покрытия, наплавленные различными марками порошковых проволок на закаленную сталь Hardox 400 с мартенситной структурой. Покрытия толщиной 5 мм характеризуются слоистым строением. Поверхностный, приповерхностный и промежуточные слои покрытий имеют дендритную структуру. Между осями дендритов выявляются зернистые включения карбидов и боридов железа и ниобия с микротвердостью 1500 HV. Микротвердость покрытий, наплавленных проволоками EnDOtec DO\*33 и SK A 70-G 2, содержащими карбиды и бориды ниобия, увеличивается до двух раз по сравнению с основным материалом и достигает 900 HV. Микротвердость покрытий, наплавленных проволокой EnDOtec DO\*30, не содержащей ниобий, составляет 700 HV.

**Ключевые слова:** сталь Hardox 400, покрытия, электродуговая наплавка, структурно-фазовые состояния, микротвердость.

## Введение

Для защиты металлов и сплавов от изнашивания, коррозии, высокотемпературного окисления и других внешних воздействий используются плазменные [1–5], лазерные [6, 7], электронно-лучевые [8–10] и другие методы нанесения покрытий с высоким уровнем требуемых свойств. Однако, как правило, они не позволяют обеспечить износостойкость поверхностей ковшей экскаваторов, кузовов самосвалов и других деталей и конструкций при интенсивных нагрузках. Одним из простых и эффективных методов повышения их прочности и долговечности является электродуговая наплавка порошковой проволокой [4, 11], которая применяется на предприятиях всех отраслей промышленности для защиты от разрушения деталей и узлов, в частности, от абразивного изнашивания, для предэксплуатационного упрочнения и изготовления биметаллических (двухслойных) мате-

риалов. За счет содержащихся в порошковой проволоке добавок легирующих элементов обеспечивается надежная защита расплавленного металла от воздействия воздуха и высокие механические свойства покрытий.

Цель настоящей работы – изучение структуры и распределения микротвердости по глубине износостойких покрытий, наплавленных электродуговым методом на мартенситную сталь для защиты от абразивного изнашивания в условиях ударных нагрузок.

## Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования применяли сталь Hardox 400, химический состав которой приведен в табл. 1. Твердость стали в закаленном состоянии составляет 370 HB.

\* Работа выполнена при поддержке госзадания Минобрнауки № 2.4807.2011.

Химический состав стали Hardox 400

Химический элемент	C	Si	Mn	P	N	B	S	Mo	Fe
Содержание, %	0,18	0,70	1,60	0,01	0,004	0,025	0,01	0,25	Ост.

Таблица 1  
 1-ый раствор азотной кислоты. Время травления составляло 20 с. Измерения микротвердости проводили на приборе HVS-1000A.

## Результаты и обсуждение

Химический состав проволоки EnDOtec DO\*30

Химический элемент	C	Si	Mn	P	Ni	B	Fe
Содержание, %	0,50	0,40	1,40	0,02	0,01	3,70	Остальное

Таблица 2

Химический состав проволоки EnDOtec DO\*33

Химический элемент	C	Si	Mn	P	Cr	Nb	Fe
Содержание, %	2,06	0,65	2,51	0,03	13,48	6,36	Остальное

Таблица 3

Химический состав проволоки SK A 70-G

Химический элемент	C	Si	Mn	Cr	Nb	B	Fe
Содержание, %	2,60	0,60	1,70	14,80	4,70	2,20	Остальное

Таблица 4

Наплавку осуществляли порошковыми проволоками – EnDOtec DO\*30 (проволока 1), EnDOtec DO\*33 (проволока 2) и SK A 70-G (проволока 3) (табл. 2–4) диаметром 1,6 мм. Твердость слоев наплавки согласно спецификации проволок составляет 67, 68 и 67 HRC соответственно. Наплавку проводили в среде защитного газа состава Ar 82 %, CO<sub>2</sub> 18 % при сварочном токе 250...300 А и напряжением на дуге 30...35 В.

Световую микроскопию поперечных шлифов осуществляли с использованием прибора Olympus GX51. Для травления покрытий использовали 3 %-й спирто-

Световая микроскопия поперечных шлифов покрытий показала, что толщина наплавленных слоев достигает 5,0...5,5 мм. По глубине покрытий выделяются 4 слоя (рис. 1), которые отличаются друг от друга контрастом травления, поверхностный 1, приповерхностный 2, промежуточный 3 и с тонкой прослойкой 4 на границе с основой. Их толщина составляет 3,5...4,0, 0,25...0,40, 0,25 и 0,01 мм соответственно. В зоне термического влияния, располагающейся ниже покрытия, также выделяется тонкий слой 5 толщиной 0,04 мм (рис. 1, 2). Общая толщина зоны термического влияния составляет 4 мм.

В структуре слоя 1 выделяются дендриты с осями второго порядка (рис. 3). Среднее значение расстояния между ними составляет 3 мкм. Расстояние между осями дендритов первого порядка составляет 20 мкм. Между ними наблюдаются кристаллические включения размерами от 2 до 16 мкм. Исходя из спецификации наплавленной проволоки можно считать, что кристаллические включения являются карбидами или боридами железа и ниобия. В слое 1 выявляются продольные и поперечные трещины, что говорит о его хрупкости, обусловленной наличием карбидов и боридов. Микротвердость включений составляет 1500 HV. Слой 1 плавно переходит в слой 2 (рис. 1), который характеризуется скоплением включений боридов и карбидов, характерные размеры которых достигают 6 мкм. В слое 2

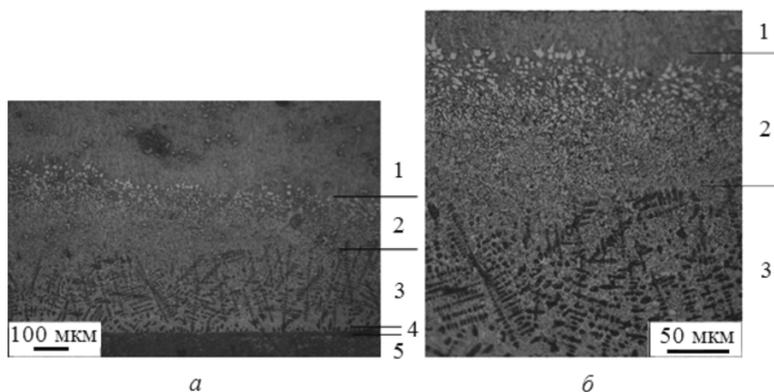


Рис. 1. Слоистая структура покрытия, наплавленного проволокой 3

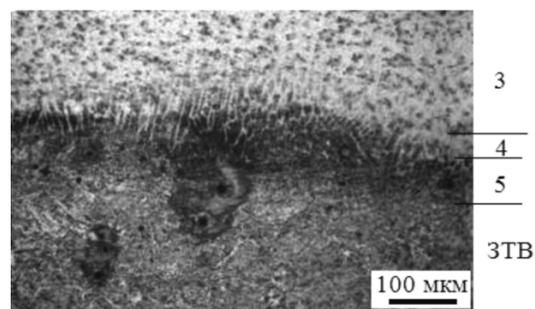


Рис. 2. Структура покрытия на границе с зоной термического влияния, наплавленного проволокой 2

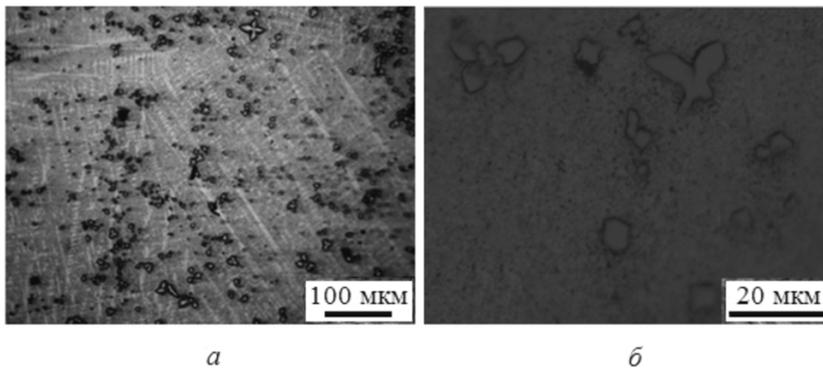


Рис. 3. Дендритная структура слоя 1 (а) и зернистые включения между осями дендритов (б)

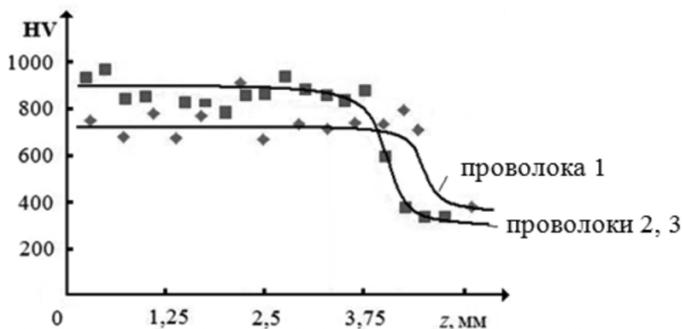


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине наплавленных покрытий: проволока 1; проволоки 2, 3

формируется мелкодисперсная структура с размерами зерен около 3 мкм (рис. 1, б). В слое 3, имеющем мелкодисперсную структуру, выделяются дендриты с осями второго порядка, среднее расстояние между которыми составляет 5 мкм. Расстояние между осями дендритов первого порядка составляет 15...50 мкм. В слоях 2 и 3 также наблюдаются включения карбидов и боридов. В слое 3 карбиды и бориды располагаются между осями дендритов второго порядка (рис. 1, б). Отношение плотностей распределения карбидов и боридов в слоях 1–3 равно 1:3:7 соответственно, что говорит об увеличении плотности распределения боридов и карбидов железа и ниобия по глубине. Зона термического влияния имеет закалочную структуру с кристаллами мартенсита пакетного и пластинчатого типа (рис. 2) и характеризуется наличием пористости.

Микротвердость наплавленных покрытий остается неизменной по всей глубине до 3,7...4,0 мм (рис. 4). В случае наплавки проволокой 1 среднее значение микротвердости упрочненного слоя составляет 700 HV, что в 2–3 раза больше микротвердости основного материала. Уровень микротвердости покрытий, наплавленных проволоками 2 и 3, составляет 900 HV, что в 3 раза больше микротвердости основного материала. Различия в уровне микротвердости покрытий могут быть обусловлены

содержанием карбидов и боридов ниобия в порошковых проволоках. Опыт показывает, что покрытия, наплавленные проволокой 3, обладают наибольшей износостойкостью.

## Выводы

При наплавке стали Hardox 400 различными марками порошковых проволок формируются покрытия со слоистой структурой общей толщиной около 5 мм. Поверхностный, приповерхностный, промежуточные слои покрытий имеют дендритную структуру, между осями которых наблюдаются зернистые включения боридов и карбидов железа и ниобия с микротвердостью 1500 HV. Микротвердость покрытий, наплавленных проволоками EnDOtec DO\*33 и SK A 70-G 2, содержащие карбиды и бориды ниобия, составляет 900 HV, а проволокой EnDOtec DO\*30 – 700 HV.

## Список литературы

1. Тюрин Ю.М., Жадкевич М.Л. Плазменные упрочняющие технологии. – Киев: Наукова Думка, 2008. – 266 с.
2. Погребняк А.Н., Тюрин Ю.Н. Модификация свойств материалов и осаждение покрытий с помощью плазменных струй // Успехи физических наук. – 2005. – 175. – № 5. – С. 515–544.
3. Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Формирование структуры, фазового состава и свойств электроэрозионноустойчивых покрытий, полученных методом электровзрывного напыления // Заготовительные производства в машиностроении. – 2013. – № 1. – С. 36–43.
4. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытий, упрочнение. – М.: Машиностроение, 2008. – 406 с.
5. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов: учебник / В.А. Грибков, Ф.И. Григорьев, Б.А. Калинин и др. – М.: Круглый год, 2001. – 528 с.
6. Астапчик С.А., Голубев В.С., Маслаков А.Г. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке. – Минск: Белорусская наука, 2008. – 251 с.
7. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрлов А.И. Технические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
8. Электронно-лучевая наплавка износостойких и коррозионно-стойких покрытий на низкоуглеродистую сталь / И.М. Полетика, С.А. Макаров, М.В. Тетюцкая, Т.А. Крылова // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. № 2. – С. 86–89.
9. Белюк С.И., Самарцев В.П., Гальченко Н.К., Дампилов Б.В., Раскошный С.Ю., Колесникова К.А.

Электронно-лучевая наплавка в черной металлургии // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – Спец. выпуск. – С. 157–160.

10. Буйносков А.П. Наплавка гребней бандажей промышленных электровозов без выкатки колесных пар

// Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 3–11.

11. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / пер. с япон. В.П. Попова; под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

Obrabotka metallov

N 3 (60), July–September 2013, Pages 80-83

### Structure and microhardness wear resistant coatings welding by the electric arc method on martensitic steel

S.V. Raykov, E.S. Vaschuk, T.Yu. Kobzareva, E.A. Budovskikh, V.E. Gromov

Siberian State Industrial University, Kirov st., 42,

Novokuznetsk, 654007, Russia

E-mail: budovskikh\_ea@physics.sibsiu.ru

#### Abstract

Coatings fused by different grades of cored wires on quenched steel Hardox 400 with martensitic structure are studied by light microscopy. Coatings with a thickness more than 5 mm are characterized by a layered structure. The surface, subsurface and intermediate layers of the coatings have a dendritic structure. Between dendritic branches granular inclusions of carbides and iron and niobium borides with microhardness 1500 HV are revealed. Microhardness of the coatings fused by EnDOtec DO \* 33 and SK A 70-G 2 wires, containing niobium carbides and borides, increases increase by a factor of two in comparison with the base material and reaches 900 HV. Microhardness of the coatings fused by EnDOtec DO \* 30 wire, that doesn't contain niobium, is 700 HV.

Keywords: Steel Hardox 400; Coatings; Electric arc welding; Structural-phase states; Microhardness.

#### References

1. Tjurin Ju.M., Zhadkevich M.L. *Plazmennye uprochnjajushhie tehnologii* (Plasma hardening technology). Kiev, «Naukova Dumka», 2008. 266 p.
2. Pogrebnyak A.N., Tjurin Ju.N. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 2005, vol. 175, no. 5, pp. 515–544.
3. Romanov D.A., Budovskikh E.A., Gromov V.E. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2013, no. 1, pp. 36–43.
4. Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topoljanskij P.A. *Plazmennye tehnologii. Svarka, nanesenije pokrytij, uprochnenie* (Plasma technologies. Welding, coating, hardening). Moscow, Mashinostroenie, 2008. 406 p.
5. Gribkov V.A., Grigor'ev F.I., Kalin B.A., Jakushin V.L. *Perspektivnye radiacionno-puchkovye tehnologii obrabotki materialov: Uchebnik* (Prospective radiation beam-material processing technologies: Textbook). Moscow, Kruglyj god, 2001. 528 p.
6. Astapchik S.A., Golubev V.S., Maslakov A.G. *Lazernye tehnologii v mashinostroenii i metalloobrabotke* (Laser technologies in mechanical engineering and metal working). Minsk, Belorusskaja nauka, 2008. 251 p.
7. Grigor'janc A.G., Shiganov I.N., Misjurov A.I. *Tehnicheskie processy la-zernoj obrabotki* (Technical Processes laser treatment). Moscow, Bauman Moscow State Technical University, 2006. 664 p.
8. Poletika I.M., Makarov S.A., Tetjuckaja M.V., Krylova T.A. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universitetata*, 2012, vol. 321, no. 2, pp. 86–89.
9. Beljuk S.I., Samarcev V.P., Gal'chenko N.K., Dampilon B.V., Raskoshnyj S.Ju., Kolesnikova K.A. *Fizicheskaja mezomehanika*, 2006, vol. 9, special issue, pp. 157–160.
10. Bujnosov A.P. *Vestnik transporta Povolzh'ja*, 2012, no. 4, pp. 3–11.
11. Hasui A., Morigaki O. *Naplavka i napylenie* (Building-up and spraying). Translated from Japanese: Popova V.P.; Edited Stepina V.S., Shesterkina N.G. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 240 p.