

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МАРТЕНСИТНОЙ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, С. А. Бородихин, Ю. О. Филиппов,
И. А. Пономарев, А. Е. Маталасова

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Рассмотрено влияние режимов термической обработки на структуру и свойства металла, наплавленного высокохромистой порошковой проволокой мартенситного класса типа 20Х15. Показано, что отпуск при температуре 800 °С обеспечивает твердость металла до приемлемых для механической обработки значений. Это объясняется распадом структурных составляющих и низкими значениями микротвердости матрицы и упрочняющих фаз. Установлено, что для повышения твердости металла после отпуска с последующей механической обработкой целесообразно проведение закалки с температуры 1020 °С. Твердость такого металла практически совпадает с твердостью металла после наплавки. Показано, что это обусловлено образованием мартенситно-ферритной структуры упрочненной выделениями δ -феррита, σ -фазы и карбидов хрома. Предложенные режимы термической обработки могут быть использованы в технологии износостойкой наплавки деталей химического и нефтегазового машиностроения.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, хромистая сталь, термообработка, мартенсит, твердость, структура.

Введение

Широкая номенклатура деталей химического и нефтегазового машиностроения изготавливается из нержавеющей сталей на железохромовой основе, сочетающих в себе достаточно высокую прочность и коррозионную стойкость [1]. Для существенного удешевления таких изделий целесообразно изготавливать их из сравнительно дешевых сталей, а высокую износостойкость обеспечивать поверхностным упрочнением. Одним из методов упрочнения, активно развивающимся в настоящее время, является наплавка рабочих поверхностей износостойкими порошковыми проволоками [2].

Для наплавки таких нержавеющей износостойких покрытий на рабочие поверхности большой номенклатуры деталей запорной арматуры, глубинных насосов, гидропрессов и т.п. широкое распространение получили экономнолегированные порошковые проволоки, содержащие 13–15 % хрома типа 20Х14, 30Х13, 40Х13 [3, 4]. Как показали ранее выполненные исследования, они обеспечивают получение наплавленного металла мартенситного либо мартенситно-ферритного классов, имеющих повышенную износостойкость в коррозионной среде [5–7].

В то же время твердость покрытий, наплавленных такими порошковыми проволоками, довольно высока, что затрудняет их механическую обработку [5, 8]. Для снижения твердости такого наплавленного металла необходимо провести его термическую обработку. Однако режимы такой термической обработки в достаточной мере не исследованы.

Исходя из этого, целью настоящей работы является исследование влияния режимов термической

обработки на структуру и свойства мартенситной хромистой стали.

Объекты и методы исследований

В работе исследовали металл, полученный наплавкой порошковой проволокой типа ПП-20Х15, содержащей 15 % хрома. Для этого в состав порошковой проволоки введен низкоуглеродистый феррохром FeCr50C5LP по ГОСТу 4757-91 (ИСО 5448-81) в количестве 30 %, что обеспечивает получение уже в первом слое наплавленного металла мартенситной структуры, обладающей достаточно высокой коррозионной стойкостью, характерной для сталей 20Х13. С целью уменьшения опасности образования пор в наплавленном металле в состав порошковой проволоки введено 0,5% кремнефтористого натрия. В качестве оболочки использовали стальную ленту марки 08кп размером 15×0,8 мм по ГОСТу 503-81 с коэффициентом заполнения 0,34.

Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 размером 200×50×10 мм опытной порошковой проволокой диаметром 2,4 мм в аргоне в четыре слоя. Режим наплавки: сила тока 230 А; напряжение 24 В; скорость наплавки 20 м/ч.

Металлографические исследования наплавленного металла проводили на оптическом микроскопе AXIO Observer A1m (Carl Zeiss). Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактиве состава: CuSO_4 — 4 г; HCl — 20 мл; H_2O — 20 мл.

ДюрOMETрические исследования проводили на образцах из металла после наплавки и термической обработки с помощью твердомера ТК-2 по методу Роквелла и микротвердомера Shimadzu HMV-2 по методу Виккерса. Микротвердость измеряли по попере-

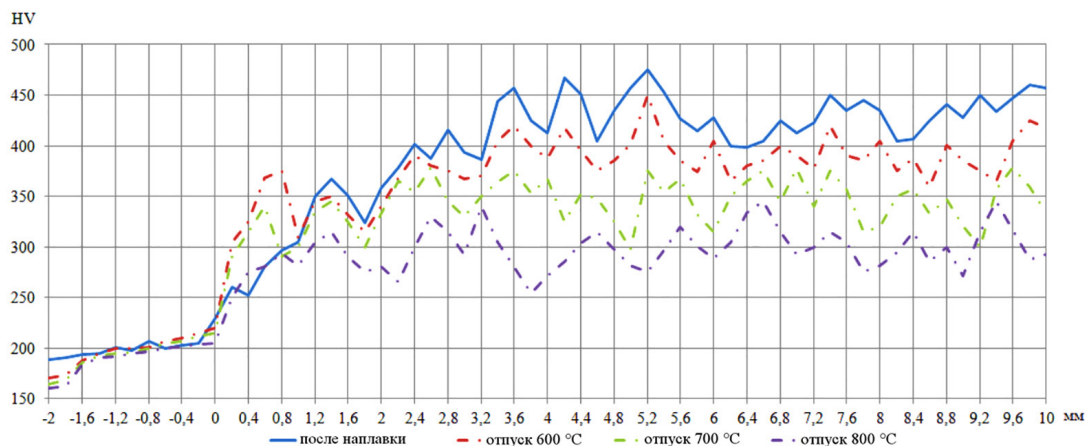


Рис. 1. Распределение микротвердости по поперечному сечению покрытия, полученного наплавкой порошковой проволокой ПП-20Х15
Fig. 1. Distribution of microhardness along the cross-section of the coating obtained by surfacing with the flux-cored wire PP-20Kh15

чному сечению наплавленного покрытия, начиная с основного металла с шагом 0,2 мм.

Электронно-микроскопические исследования проводили на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610-LV с приставкой Inca-350 энергодисперсионного анализа (ЭДА). Исследования тонкой структуры металла осуществляли на фольгах с использованием просвечивающего электронного микроскопа ЭМВ-100А при ускоряющем напряжении 100 кВ.

Исследовался металл в состояниях после наплавки и после отпуска. Отпуск проводили на режимах, рекомендуемых для этого класса сталей при температурах 600, 700 и 800 °С с выдержкой в течение 2 ч [9].

Результаты и обсуждение

Результаты измерения микротвердости металла покрытия после отпуска при выбранных температурах приведены на рис. 1, там же приведено распределение микротвердости в металле покрытий после наплавки.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что микротвердость в металле после наплавки изменяется в пределах 330–460 HV. После отпуска при 600 °С и 700 °С микротвердость металла имеет все еще довольно высокие значения. После отпуска при 800 °С микротвердость металла снижается до приемлемых для механической обработки значений в 260–340 HV.

Для полной картины распределения дюротметрических свойств по сечению покрытий после наплавки и отпуска исследована общая твердость такого металла по методу Роквелла. Полученные результаты представлены на рис. 2.

Видно, что после такого отпуска общая твердость распределена равномерно по сечению покрытий в пределах 20–21 HRC. Такая твердость металла позволяет обрабатывать его без каких-либо затруднений.

Микроструктура металла, наплавленного проволокой ПП-20Х15, представляет собой смесь мартенсита и феррита (рис. 3). По границам зерен наблюдается скопление упрочняющих фаз. Такая смешанная структура и обеспечивает твердость в пределах 40 HRC.

Дюротметрические исследования микротвердости структурных составляющих металла после наплавки приведены на рис. 4 и в табл. 1.

Как видно, микротвердость матрицы изменяется в пределах от 293 до 429 HV, δ -феррита от 358 до 384 HV, а упрочняющих фаз — от 551 до 609 HV.

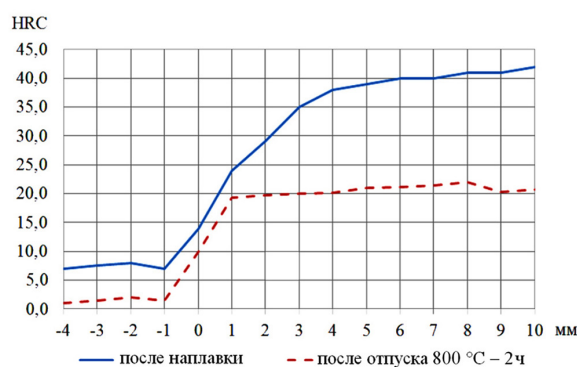


Рис. 2. Распределение твердости металла по сечению покрытия, полученного наплавкой порошковой проволокой ПП-20Х15
Fig. 2. Distribution of hardness along the section of the coating obtained by surfacing with the flux-cored wire PP-20Kh15

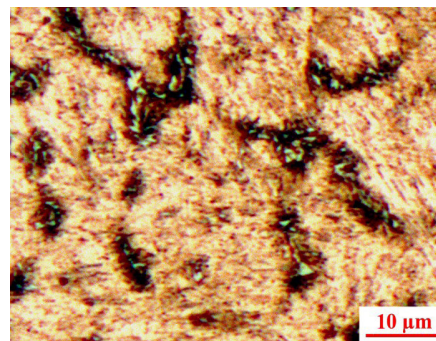
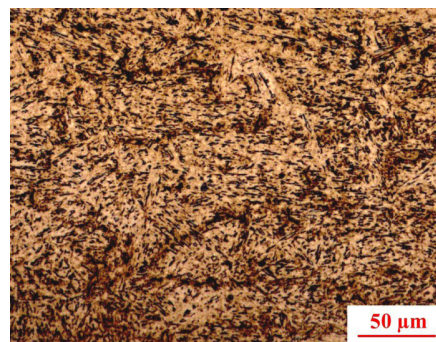


Рис. 3. Микроструктура металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-20Х15
Fig. 3. Microstructure of the metal deposited with the flux-cored wire PP-20Kh15

Таблица 1. Микротвердость $HV_{0,01}^*$ и $HV_{0,05}$ структурных составляющих металла, наплавленного ПП-20Х15
Table 1. Microhardness $HV_{0,01}^*$ and $HV_{0,05}$ of structural components of the metal surfaced with PP-20Kh15

№ укола	1	2*	3*	4*	5*	6	7	8	9	10	11*	12*
Значение микротвердости, HV	408	376	358	551	384	424	393	429	389	411	609	572

Таблица 2. Микротвердость $HV_{0,01}^*$ и $HV_{0,05}$ структурных составляющих металла после отпуска 800 °С — 2 ч
Table 2. Microhardness $HV_{0,01}^*$ and $HV_{0,05}$ of structural components of the metal after tempering 800 °С — 2 hr

№ укола	1*	2	3*	4	5	6*	7	8*	9	10	11	12
Значение микротвердости, HV	554	286	542	171	306	501	339	569	287	309	278	339

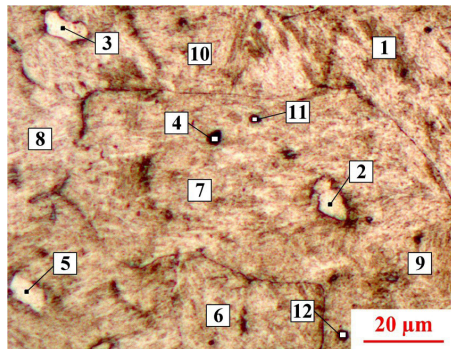


Рис. 4. Изображение микроструктуры с распределением мест замера микротвердости составляющих металла покрытия, наплавленного порошковой проволокой ПП-20Х15
Fig. 4. The microstructure image of the weld metal deposited with the flux-cored wire PP-20Kh15 components with the distribution of the microhardness measuring points

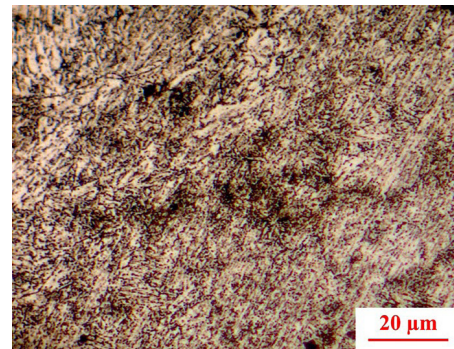


Рис. 5. Микроструктура металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-20Х15 после отпуска 800 °С — 2 ч
Fig. 5. Microstructure of the metal welded with flux-cored wire PP-20Kh15 after tempering 800 °С — 2 hr

Отпуск при температуре 800 °С исследуемого покрытия приводит к изменениям микроструктуры наплавленного металла. В результате отпуска в металле произошел значительный распад структурных составляющих (рис. 5), что и обусловило снижение твердости с 40 до 20 HRC.

Микротвердости структурных составляющих наплавленного металла после отпуска исследуемого покрытия существенно изменились (рис. 6, табл. 2).

Как видно, микротвердость матрицы металла после отпуска уменьшилась значительно — от 171 до 339 HV, а микротвердость упрочняющих фаз изменяется от 501 до 569 HV. Такие изменения в структуре и обусловили существенное снижение твердости.

Результаты просвечивающей электронной микроскопии тонкой структуры металла после отпуска приведены на рис. 7. При больших увеличениях отмечено наличие δ -феррита и карбидов (рис. 7, III).

Таким образом, для снижения твердости металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-20Х15 покрытий, можно рекомендовать температуру отпуска в 800 °С.

После механической обработки отпущенного металла необходимо повысить его твердость для обеспечения высокой износостойкости. С этой целью после отпуска исследуемых образцов провели их закалку.

Были исследованы три режима закалки, рекомендуемые для сталей такого класса: при температурах нагрева 950 °С, 1020 °С, 1100 °С [9]. Результаты измерения твердости по поперечному сечению металла образцов приведены в табл. 3.

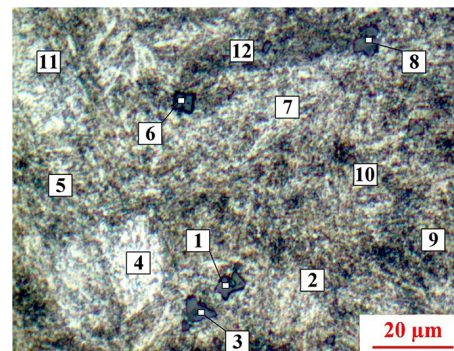


Рис. 6. Изображение микроструктуры с распределением мест замера микротвердости составляющих наплавленного металла после отпуска 800 °С — 2 ч
Fig. 6. The microstructure image of the weld metal components after tempering 800 °С — 2 hr with the distribution of the microhardness measuring points

Таблица 3. Распределение твердости в покрытии, полученной наплавкой ПП-20Х15 после закалки
Table 3. Distribution of hardness in the coating obtained by surfacing with PP-20Kh15 after quenching

Температура закалки, °С	Распределение твердости по слоям наплавленного металла, HRC			
	1	2	3	4
950	38	47	46	44
1020	47	45	46	48
1100	41	41	38,5	28

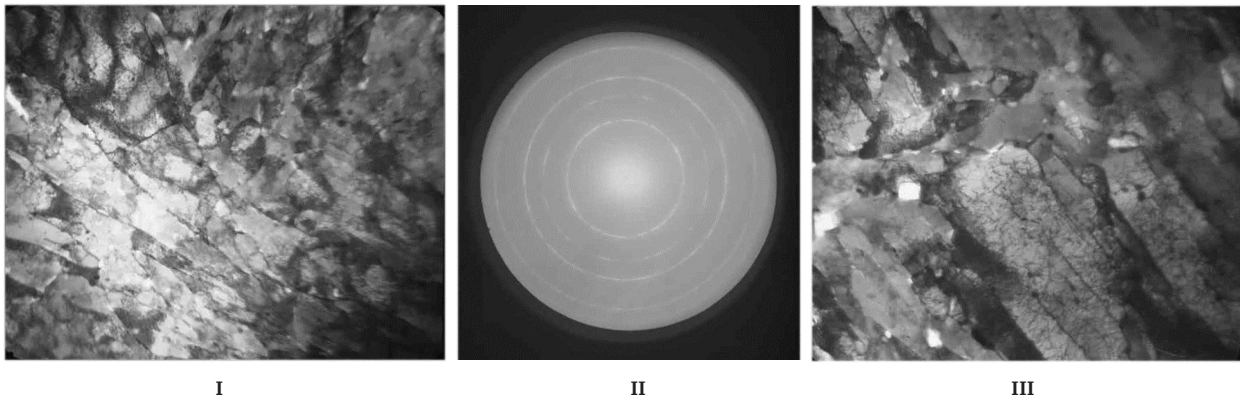


Рис. 7. Микроструктура металла наплавленного покрытия ПП-20Х15 после отпуска 800 °С, полученная ПЭМ:
I и III — тонкая структура ($\times 11000$) и ($\times 18000$); II — режим электронографа
Fig. 7. Microstructure of the metal coating after tempering 800 °C deposited
with the flux-cored wire PP-20Kh15 obtained by TEM:
I and III — fine texture ($\times 11000$) and ($\times 18000$); II — electron-diffraction mode

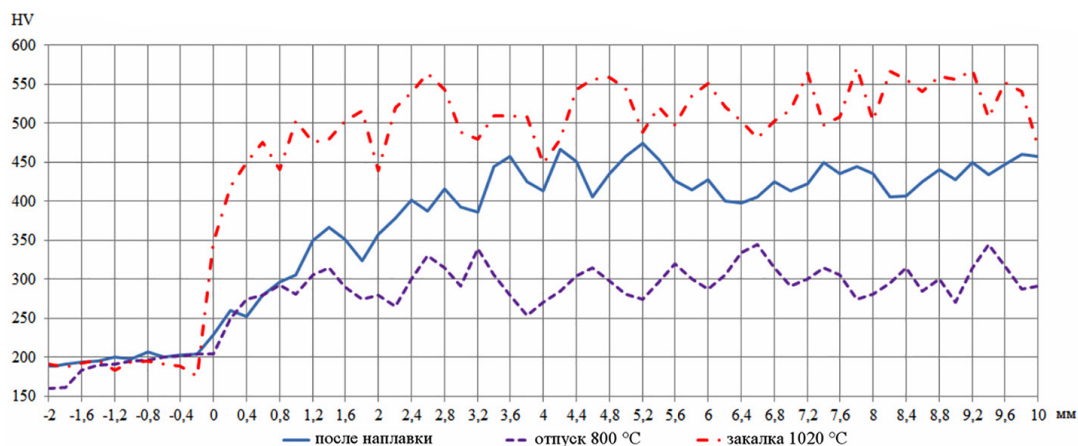


Рис. 8. Распределение микротвердости по сечению наплавленных покрытий ПП-20Х15
после оптимальной термообработки
Fig. 8. Distribution of microhardness along the section of the coating obtained by surfacing
with the flux-cored wire PP-20Kh15 after optimum heat treatment

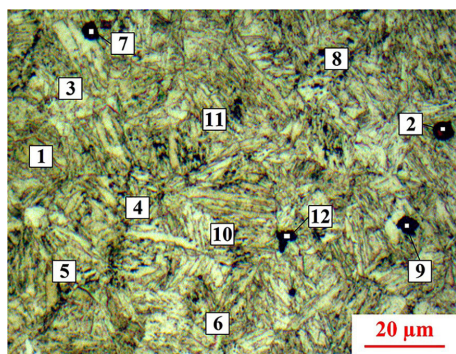


Рис. 9. Изображение микроструктуры
с распределением мест замера микротвердости
составляющих металла покрытия, наплавленного
ПП-20Х15 в состоянии после закалки
Fig. 9. The microstructure image of the weld metal
coating obtained by surfacing with the flux-cored
wire PP-20Kh15 components in a state
after quenching with the distribution
of the microhardness measuring points

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что твердость по слоям покрытия после закалки с температуры 950 °С находится в пределах 38 — 47 HRC, после закалки с температуры 1020 °С — 45 — 48 HRC, а после закалки с температуры 1100 °С —

28 — 41 HRC. Как видно, наилучшие результаты дает закалка с температуры 1020 °С. Твердость металла после такого режима даже превышает твердость металла после наплавки.

Результаты измерения микротвердости по сечению наплавленного металла на оптимальных режимах термообработки приведены на рис. 8.

Как видно, такая термообработка приводит к стабилизации значений микротвердости на высоком уровне, также превышающем даже уровень микротвердости после наплавки.

ДюрOMETрические исследования показали и существенное повышение микротвердости структурных составляющих металла исследуемого покрытия после закалки (рис. 9, табл. 4).

Как видно, микротвердость матрицы наплавленного металла после закалки изменяется от 470 до 570 HV, а упрочняющих фаз — 590 — 640 HV.

Из результатов просвечивающей электронной микроскопии следует, что структура металла после закалки представляет железо-хромистую мартенситную матрицу (рис. 10). Внутри структуры наблюдаются выделения σ -фазы и оксидов. При больших увеличениях отмечается наличие карбидов, δ -феррита и σ -фазы (рис. 10, III). Подобные результаты упрочнения хромистых мартенситных сталей отмечены и в ряде зарубежных работ [10, 11].

Таблица 4. Микротвердость $HV_{0,01}^*$ и $HV_{0,05}$ структурных составляющих металла после закалки
 Table 4. Microhardness $HV_{0,01}^*$ and $HV_{0,05}$ of structural components of the metal after quenching

№ укола	1	2*	3	4	5	6	7*	8	9*	10	11	12*
Значение микротвердости, HV	486	629	537	545	489	501	591	551	603	477	568	642

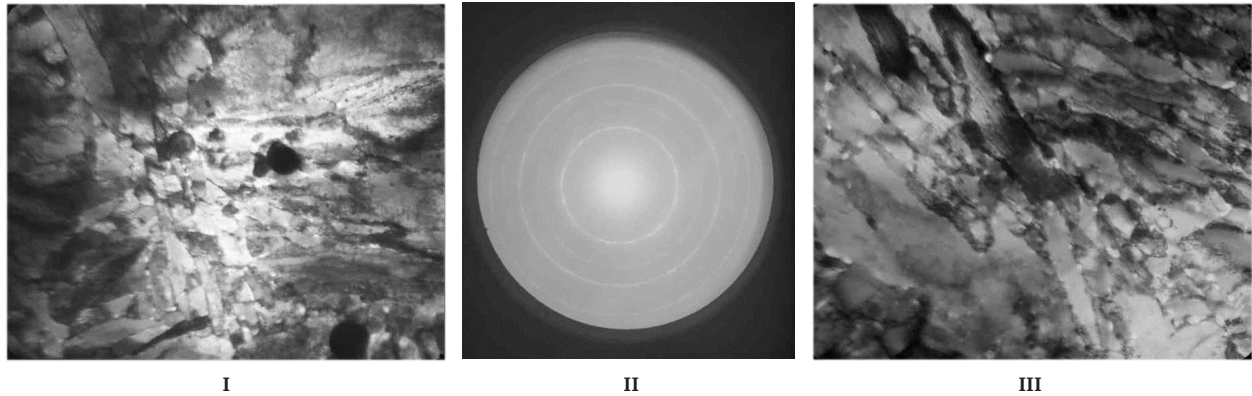


Рис. 10. Микроструктура металла наплавленного покрытия ПП-20Х15 после закалки, полученная ПЭМ:
 I и III — тонкая структура ($\times 8000$) и ($\times 18000$); II — режим электронографа
 Fig. 10. Microstructure of the metal after quenching deposited with the flux-cored wire PP-20Kh15 obtained by TEM:
 I and III — fine texture ($\times 8000$) and ($\times 18000$); II — electron-diffraction mode

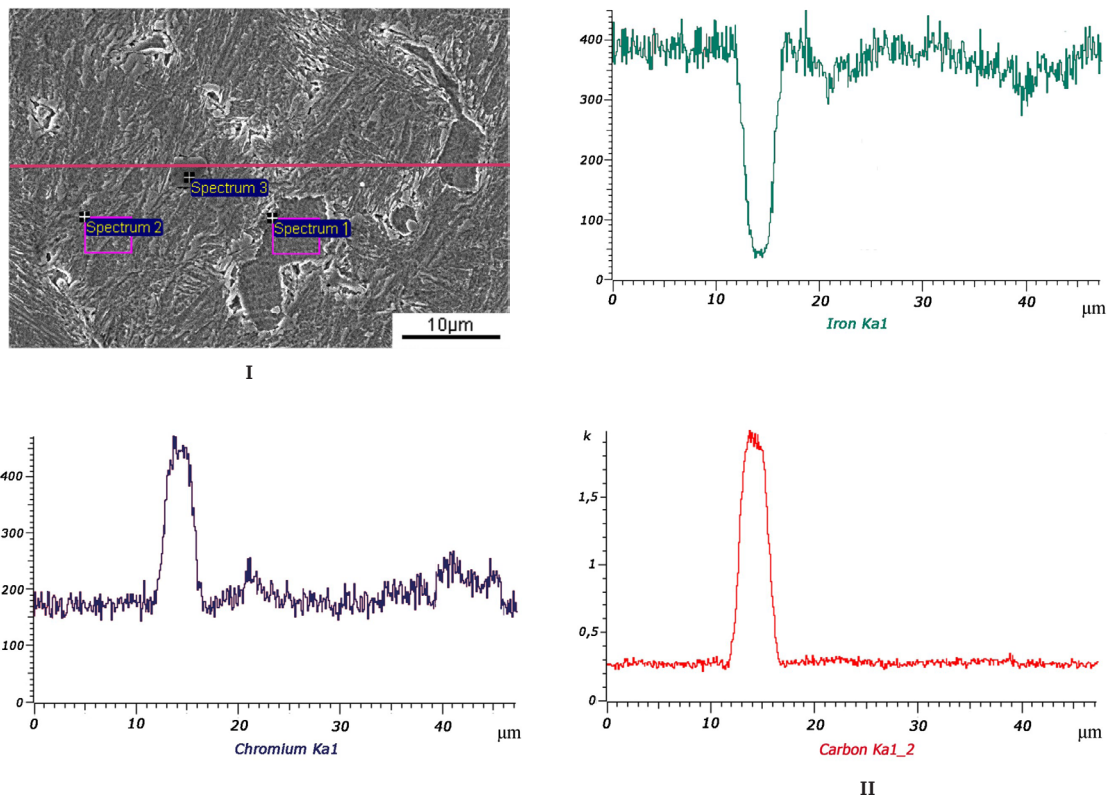


Рис. 11. Результаты сканирования структуры металла наплавленного покрытия ПП-20Х15 после закалки:
 I — изображение микроструктуры с расположением областей сканирования;
 II — распределение элементов вдоль линии сканирования
 Fig. 11. The results of scanning the structure of the deposited metal coating obtained by the flux-cored wire type PP-10Kh15 after quenching:
 I — the microstructure image with the distribution of the scanning areas;
 II — distribution of elements along the scanning line

Таблица 5. Химический состав областей покрытия, наплавленного ПП-20Х15
Table 5. Chemical composition of the coating areas surfaced with PP-20Kh15

Спектр	C, %	Cr, %	Fe, %
1	12,40	17,12	70,48
2	12,04	14,88	73,08
3	55,79	37,33	6,88

Для уточнения химического состава структурных составляющих в металле после закалки проведены исследования на растровом электронном микроскопе (рис. 11, табл. 5).

Согласно данным энергодисперсионного анализа, отражающим количественное распределение элементов вдоль отрезка прямой линии в виде концентрационных спектрограмм и спектров локального точечного анализа, следует, что упрочнение металла, наплавленного ПП-20Х15, в основном обусловлено наличием карбидов хрома, что подтверждается и другими исследователями [10, 12].

Таким образом, рациональными режимами термической обработки наплавленного металла исследуемых образцов является отпуск при температуре 800 °С с выдержкой 2 часа и последующая закалка с температурой 1020 °С.

Выводы и заключение

1. Отпуск при температуре 800 °С металла, наплавленного высокохромистой порошковой проволокой мартенситного класса типа 20Х15, обеспечивает твердость до приемлемых для механической обработки значений в 20 HRC. Это объясняется распадом структурных составляющих и низкими значениями микротвердости матрицы и упрочняющих фаз.

2. Для повышения твердости отпущенного металла после механической обработки целесообразно проведение закалки с температуры 1020 °С. Твердость такого металла достигает 45–48 HRC, что даже выше твердости металла после наплавки. Это объясняется увеличением микротвердости структурных составляющих вследствие образования мартенситной структуры, упрочненной выделениями δ-феррита, σ-фазы и карбидов хрома.

3. Предложенные режимы термической обработки могут быть использованы в технологии износостойкой наплавки деталей химического и нефтегазового машиностроения.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Список источников

1. Шлямнев А. П., Свистунова Т. В., Сорокина Н. А. [и др.]. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: справ. / под ред. Б. С. Литвака. М.: Проммет-сплав, 2008. 332 с. ISBN 978-5-9901182-1-8.
2. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. Киев: Екотехнологія, 2004. 159 с. ISBN 966-8409-02-7.
3. Юзвенко Ю. А., Кирелюк Г. А. Наплавка порошковой проволокой. М.: Машиностроение. 1975. 45 с.

4. Наплавочные материалы стран — членов СЭВ: кат. / Под ред. И. И. Фрумина. Киев, М.: ВИНТИ, 1979. 620 с.

5. Коротков В. А. Исследование свойств высоколегированных наплавов // Сварочное производство. 1997. № 10. С. 30–32.

6. Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А. Влияние защитной атмосферы на структуру и свойства наплавленного высокохромистого металла // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность. 2017. № 1. С. 8–11.

7. Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А. [и др.]. Влияние защитной среды на свойства высокохромистого наплавленного металла, предназначенного для покрытий запорной арматуры // Омский научный вестник. 2016. № 4 (148). С. 27–29.

8. Еремин А. Е., Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О. [и др.]. Структура и свойства высокохромистого металла запорной арматуры, наплавленного серийно выпускаемыми сварочными проволоками // Омский научный вестник. 2014. № 1 (127). С. 55–58.

9. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. М.: МИСИС, 1999. 408 с. ISBN 5-87623-032-4.

10. Bhambri S. K. Intergranular fracture in 13 wt% chromium martensitic stainless steel // Journal of Material Science. 1986. Vol. 21, Issue 5. P. 1741–1746.

11. Carrouge D., Bhadeshia H. K. D. H., Woollin P. Effect of δ-ferrite on impact properties of supermartensitic stainless steel heat affected zones // Science and Technology of Welding and Joining. 2004. Vol. 9. P. 377–389.

12. Schäfer L. Influence of delta ferrite and dendritic carbides on the impact and tensile properties of a martensitic chromium steel // Journal of Nuclear Materials. 1998. Vol. 258. P. 1336–1339. DOI: 10.1016/S0022-3115(98)00200-1.

ЕРЕМИН Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение», директор машиностроительного института.

ЛОСЕВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение».

БОРОДИХИН Сергей Александрович, ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

ФИЛИПPOB Юрий Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

ПОНОМАРЕВ Иван Андреевич, студент гр. С-131 машиностроительного института.

МАТАЛАСОВА Арина Евгеньевна, студентка гр. С-131 машиностроительного института.

Адрес для переписки: weld_techn@mail.ru

Для цитирования

Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А., Филиппов Ю. О., Пономарев И. А., Маталасова А. Е. Влияние термической обработки на структуру и свойства покрытий на основе мартенситной хромистой стали, полученных наплавкой порошковой проволокой // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2017. Т. 1, № 2. С. 41–48.

Статья поступила в редакцию 20.11.2017 г.

© Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, С. А. Бородихин, Ю. О. Филиппов, И. А. Пономарев, А. Е. Маталасова

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND CHARACTERISTICS OF COATINGS BASED ON MARTENSITIC CHROMIUM STEEL OBTAINED BY SURFACING WITH FLUX CORED WIRE

E. N. Eremin, A. S. Losev, S. A. Borodikhin, Yu. O. Philippov,
I. A. Ponomarev, A. E. Matalasova

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

This study explores the effect of heat treatment regimes on the structure and characteristics of a metal deposited by a high-chromium martensitic flux-cored wire type 20Kh15. It has shown that tempering at 800 °C ensures the metal hardness to acceptable values for machining. This happens due to the structural components breakdown and the low values of the matrix and the strengthening phases microhardness. It is established that hardening with a temperature of 1020 °C is functional to increase the hardness of the metal after tempering with subsequent machining. The hardness of such a metal practically coincides with the hardness of the metal after surfacing. It has shown that this is due to the formation of a martensitic-ferritic structure strengthened by precipitates of δ -ferrite, σ -phase and chromium carbides. The proposed heat treatment modes can be used in the wear resistant surfacing technology of parts of chemical and oil-and-gas machine building.

Keywords: surfacing, flux-cored wire, chromium steel, heat treatment, martensite, hardness, structure.

Acknowledgments

The work is carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (№ 17-19-01224).

References

1. Shlyamnev A. P., Svistunova T. V., Sorokina N. A. [et al.]. Korroziionnostoykiye, zharostoykiye i vysokoprochnyye stali i splavy: sprav. [Corrosion-resistant, heat-resistant and high-strength steels and alloys: handbook] / Ed. B. S. Litvak. Moscow: Prommet-splav Publ., 2008. 332 p. ISBN 978-5-9901182-1-8. [In Russ.].
2. Ryabtsev I. A. Naplavka detaley mashin i mekhanizmov [Surfacing of machine and mechanisms parts]. Kiev: Ekotekhnologiya Publ., 2004. 159 p. ISBN 966-8409-02-7. [In Russ.].
3. Yuzvenko Yu. A., Kirelyuk G. A. Naplavka poroshkovoy provolokoy [Surfacing by flux-cored wire]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1975. 45 p. [In Russ.].
4. Naplavochnyye materialy stran — chlenov SEV [The surfacing materials of the CMEA member countries] / Ed. I. I. Frumin. Kiev, Moscow: VINITI Publ., 1979. 620 p. [In Russ.].
5. Korotkov V. A. Issledovanie svoystv vysokolegirovannykh naplavok [Investigation of high-alloy surfacing characteristics] // Svarochnoye Proizvodstvo. Svarochnoe Proizvodstvo. 1997. No. 10. P. 30–32. [In Russ.].
6. Eremin E. N., Losev A. S., Borodikhin S. A. Vliyaniye zashchitnoy atmosfery na strukturu i svoystva naplavlennogo vysokokhromistogo metalla [The influence of the protective atmosphere on the structure and characteristics of the deposited high-chromium metal] // Rossiya molodaya: peredovyye tekhnologii — v promyshlennost'. Young Russia: advanced technologies — to industry. 2017. No. 1. P. 8–11. [In Russ.].
7. Eremin E. N., Losev A. S., Borodikhin S. A. [et al.]. Vliyaniye zashchitnoy sredy na svoystva vysokokhromistogo naplavlennogo metalla, prednaznachennogo dlya pokrytiy zapornoy armatury [The influence of the protective atmosphere on the characteristics of the deposited high-chromium metal, intended for coverings of stop valves] // Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin. 2016. № 4 (148). P. 27–29. [In Russ.].
8. Eremin A. E., Eremin E. N., Filippov Yu. O. [et al.]. Struktura i svoystva vysokokhromistogo metalla zapornoy armatury, naplavlennogo seriyno vypuskaemymi svarochnymi provolokami [Structure and characteristics of high-chromium metal of stop valves surfaced with serially produced welding wires] // Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin. 2014. № 1 (127). P. 55–58. [In Russ.].
9. Gol'dshteyn M. I., Grachev S. V., Veksler Yu. G. Spetsial'nye stali [Special steels]. Moscow: MISIS Publ., 1999. 408 p. ISBN 5-87623-032-4. [In Russ.].
10. Bhambri S. K. Intergranular fracture in 13 wt% chromium martensitic stainless steel // Journal of Material Science. 1986. Vol. 21, Issue 5. P. 1741–1746. [In Engl.].
11. Carrouge D., Bhadeshia H. K. D. H., Woollin P. Effect of δ -ferrite on impact properties of supermartensitic stainless steel heat affected zones // Science and Technology of Welding and Joining. 2004. Vol. 9. P. 377–389. [In Engl.].
12. Schäfer L. Influence of delta ferrite and dendritic carbides on the impact and tensile properties of a martensitic chromium steel // Journal of Nuclear Materials. 1998. Vol. 258. P. 1336–1339. DOI: 10.1016/S0022-3115(98)00200-1. [In Engl.].

EREMIN Evgeniy Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Mechanical Engineering and Material Science Department, Director of Machine-Building Institute.

LOSEV Aleksandr Sergeevich, Senior Teacher of Mechanical Engineering and Material Science Department.



BORODIKHIN Sergey Alexandrovich, Assistant of Mechanical Engineering and Material Science Department.

PHILIPPOV Yuri Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mechanical Engineering and Material Science Department.

PONOMAREV Ivan Andreevich, Student, gr. S-131 of Machine-Building Institute.

MATALASOVA Arina Evgenievna, Student, gr. S-131 of Machine-Building Institute.

Address for correspondence: weld_techn@mail.ru

For citations

Eremin E. N., Losev A. S., Borodikhin S. A., Philippov Yu. O., Ponomarev I. A., Matalasova A. E. The effect of heat treatment on the structure and characteristics of coatings based on martensitic chromium steel obtained by surfacing with flux cored wire // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2017. Vol. 1, no. 2. P. 41 – 48.

Received 20 November 2017.

© E. N. Eremin, A. S. Losev, S. A. Borodikhin, Yu. O. Philippov, I. A. Ponomarev, A. E. Matalasova