



УДК 621.791.92

Поступила 03.06.2015

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОВЕРХНОСТНО-ЛЕГИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ БОРОМ С ДОПОЛНИТЕЛЬНО НАНЕСЕННЫМ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ ХРОМА И МЕДИ

RESEARCH OF PROCESS OF AN ALLOYING OF THE FUSED COATING RECEIVED FROM THE SUPERFICIAL ALLOYED WIRE BY BORON WITH IN ADDITIONALLY APPLIED ELECTROPLATED COATING OF CHROME AND COPPER

В. А. СТЕФАНОВИЧ, С. В. БОРИСОВ, А. В. СТЕФАНОВИЧ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

V. A. STEFANOVICH, S. V. BORISOV, A. V. STEFANOVICH, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Выполнены исследования по распределению хрома и меди в наплавленном покрытии, полученном из поверхностно-легированной проволоки бором с дополнительно нанесенным гальваническим покрытием хрома и меди. Структура наплавленного покрытия состоит из дендритов, по границам которых расположена боридная эвтектика. Установлено, что содержание хрома в дендритах в 1,5–1,6 раза меньше, чем в бориде; распределение меди по структуре равномерное. Установлены коэффициенты усвоения хрома и меди при аргоно-дуговой наплавке из проволочного электрода с гальваническим покрытием. Коэффициент усвоения для хрома равен 0,9–1,0; для меди – 0,6–0,75.

Researches on distribution of chrome and copper in the fused coating received from the superficial alloyed wire by boron with in additionally applied electroplated coating of chrome and copper were executed. The structure of the fused coating consists of dendrites on which borders the boride eutectic is located. It is established that the content of chrome in dendrites is 1,5–1,6 times less than in the boride; distribution of copper on structure is uniformed. Coefficients of digestion of chrome and copper at an argon-arc welding from a wire electrode with electroplated coating are established. The assimilation coefficient for chrome is equal to 0,9–1,0; for copper – 0,6–0,75.

Ключевые слова. *Наплавленные покрытия, композиционный электрод, легирование бором, хромом и медью, распределение элементов, гальванические покрытия, коррозионная стойкость.*

Keywords. *Fused coatings, composite electrode, an alloying by boron, chrome and copper, distribution of elements, electroplated coatings, corrosion resistance*

Введение. Детали (катодные контакты, детали торцовых уплотнений), изготовленные из коррозионно-стойких хромоникелевых сталей, работают в условиях износа в агрессивных средах. Из-за низкой твердости хромоникелевых сталей (200–230НВ) они имеют небольшой срок эксплуатации. Для увеличения времени работы рабочие части деталей подвергают аргоно-дуговой наплавке с использованием поверхностно-легированной бором проволоки из хромоникелевой коррозионно-стойкой стали 06Х19Н9Т. В процессе наплавки боридный слой взаимодействует с материалом проволоки, формируя гетерогенную структуру наплавленного покрытия, состоящую из дендритов, по границам которых расположена боридная эвтектика высокой твердости и износостойкости (рис. 1). Твердость наплавленного покрытия составляет 35–40 HRC [1]. Изготовленные детали таким способом обеспечивают требуемый ресурс работы, но при этом наплавленное покрытие покрывается серой пленкой. Ее появление на наплавленном покрытии, полученном из поверхностно-легированной бором проволоки из стали 06Х19Н9Т, обусловлено понижением коррозионной стойкости наплавленного покрытия, которое вызвано перераспределением легирующих элементов в структуре.

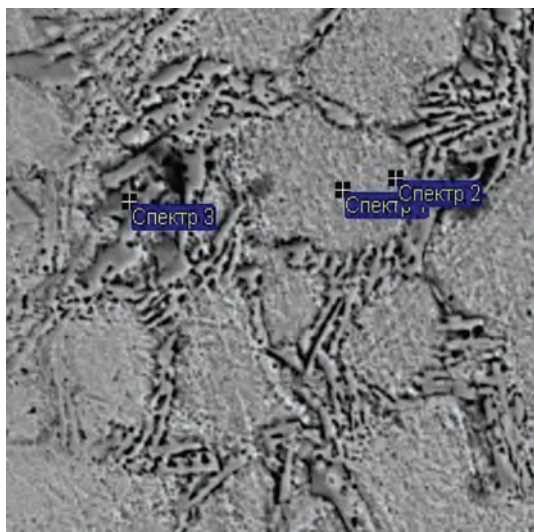


Рис. 1. Микроструктура наплавленного покрытия, полученного из поверхностно-легированной проволоки бором

Распределение хрома по сечению дендрита и в твердой фазе показало, что дендриты, состоящие из аустенита, содержат меньшее количество хрома 12,92 – 14,49%, чем исходная сталь 06X19H9T, что обуславливает снижение коррозионной стойкости.

Для повышения коррозионной стойкости наплавленного покрытия необходимо увеличить содержание легирующих элементов, таких, как хром и медь. С повышением содержания хрома, особенно более 18%, расширяется область пассивного состояния нержавеющей сталей [2]. Введение меди способствует торможению катодного процесса. При легировании медью хромоникелевой стали 10X18H9 в пределах 3,5–5,0% замедляется процесс коррозии в серной кислоте в 2–15 раз [3].

Таким образом, для увеличения сопротивления коррозии наплавленного покрытия, полученного наплавкой из хромоникелевой стали, его необходимо дополнительно легировать хромом в количестве не менее 6%, чтобы повысить содержание хрома в дендритах более 18%; медью

в пределах 3,5–5,0% и совместным легированием хромом и медью соответственно 6,0 и 3,5–5,0%.

Цель работы. Исследование процесса дополнительного легирования хромом и медью наплавленных покрытий при аргонно-дуговой наплавке с использованием поверхностно-легированной проволоки бором с гальваническими покрытиями.

Методическая часть. В качестве присадочного материала при аргонно-дуговой наплавке использовали проволоку диаметром 2 мм из стали 06X19H9T с толщиной боридного слоя ~60 мкм, на которую гальваническим способом осаждали хром и медь в заданных количествах.

Для осаждения гальванического хрома использовали стандартный электролит на основе CrO_3 и H_2SO_4 , а для осаждения меди – кислый сульфатный электролит. Распределение элементов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU.

Наплавку осуществляли аргонно-дуговым методом в два слоя на подложку из стали 10X18H10T. Толщина каждого слоя составляла 2,5–3,9 мм.

Поперечно наплавленному слою изготавливали шлиф, который затем исследовали.

Обсуждение результатов. Количество дополнительно введенного элемента в наплавленное покрытие зависит от диаметра проволоки и толщины гальванического слоя. Для определения толщины гальванического слоя, обеспечивающего ожидаемое введение легирующего элемента, воспользуемся методом, представленным в работе [1]. Расчеты показывают, что для дополнительного легирования наплавленного покрытия хромом более 6% на проволочный электрод диаметром 2 мм необходимо нанести гальваническое покрытие толщиной более 30 мкм, а для дополнительного легирования медью в количестве 3–5% гальваническое покрытие должно иметь толщину в пределах ~15–25 мкм.

Для исследования дополнительного легирования медью и хромом были изготовлены следующие электроды: с гальваническим слоем меди толщиной ~10 и ~25 мкм, что обеспечивает ожидаемое допол-

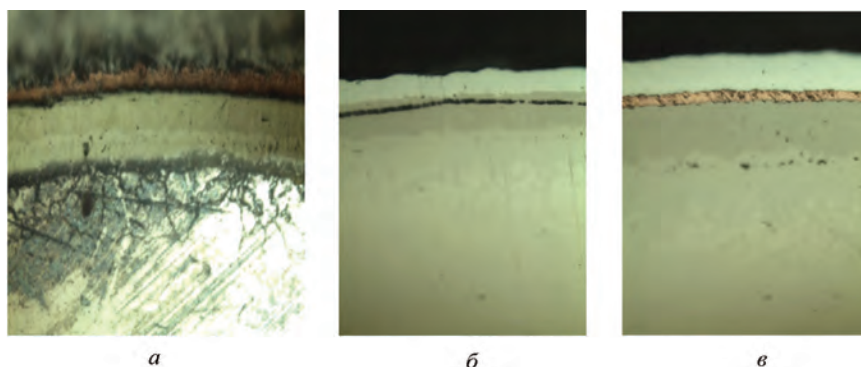


Рис. 2. Микроструктура композиционных электродов с гальваническими покрытиями: а – медью (шлиф травлен); б – хромом (шлиф не травлен); в – медью и хромом (шлиф не травлен)

нительное легирование медью в количестве ~2 и ~5%; с гальваническим слоем хрома толщиной ~11, ~23, ~35 мкм, что обеспечивает ожидаемое дополнительное легирование хромом ~2, ~4,5, ~7%; с гальваническим слоем меди толщиной ~25 мкм и хрома ~35 мкм, что обеспечивает одновременное легирование медью ~5% и хромом ~7%.

Микроструктуры поверхностного слоя композиционных электродов показаны на рис. 2. Боридный слой состоит из двух фаз: легированных боридов FeB и Fe₂B, при этом содержание высокобористой фазы в диффузионном слое составляет более 50%.

Распределение легирующих элементов в наплавленном покрытии (см. рис. 1) в центре дендрита (спектр 1), на краю дендрита (спектр 2) и в твердой фазе (спектр 3) приведено в таблице.

Распределение элементов в наплавленном покрытии

Вид гальванического покрытия	Толщина слоя, мкм	Спектр	Количество элементов в наплавленном покрытии, %						
			Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Без покрытия		1	0,49	0,09	12,74	0,52	75,68	10,40	0,08
		2	0,41	0,07	14,99	0,30	74,63	9,51	0,09
		3	0,24	0,37	22,31	0,90	68,54	7,47	0,17
Cu	10	1	0,43	-0,02	13,00	1,43	74,24	9,50	1,42
		2	0,43	0,10	15,84	1,75	70,64	9,71	1,52
		3	0,35	3,09	23,40	2,19	65,03	7,85	1,10
	25	1	0,53	0,01	13,56	1,57	71,62	8,94	3,77
		2	0,48	0,12	16,08	1,63	68,69	9,18	3,82
		3	0,29	1,91	24,53	2,17	59,80	7,93	3,37
Cr	11	1	0,69	-0,08	14,60	1,73	72,75	10,12	0,18
		2	0,54	0,05	17,20	2,13	70,19	10,13	-0,24
		3	0,86	-0,11	25,71	2,08	62,39	8,99	0,09
	23	1	0,68	0,15	17,39	1,37	70,95	9,24	0,22
		2	0,74	0,03	19,29	1,50	67,32	11,13	-0,02
		3	0,34	0,03	28,74	2,29	59,02	8,84	0,53
	35	1	0,38	-0,02	19,26	1,18	69,95	9,17	0,07
		2	0,22	0,08	20,04	1,08	68,94	9,53	0,11
		3	0,23	0,19	31,64	1,37	58,92	7,73	-0,08
Cu+Cr	25	1	0,25	0,01	20,43	1,28	65,36	8,98	3,69
		3	0,31	0,21	31,92	1,15	55,51	7,69	3,21
	35	2	0,48	0,03	21,24	1,13	64,02	9,23	3,87

Наплавленное покрытие на основе системы 06X18H9T+B без дополнительного легирования хромом содержит в центре дендрита 12,74% хрома, у края дендрита – 14,99 и в эвтектике – 22,31% (см. таблицу). Дополнительное легирование хромом наплавленного покрытия, полученного из композиционного электрода с 11 мкм гальванического хрома, повышает содержание хрома в центре дендрита до 14,6%, на краю дендрита – до 17,2, в бориде – до 25,71%. Увеличение толщины гальванического слоя хрома на электроде приводит к повышению содержания хрома в фазах наплавленного покрытия: при толщине гальванического хрома на электроде 23 мкм количество хрома в центре дендрита составляет 17,39%, у края дендрита – 19,29 и в бориде – 28,74%; при 35 мкм количество хрома в центре дендрита составляет 19,26%, у края дендрита – 20,04 и в бориде – 31,64%. Аналогичное распределение хрома между фазами в наплавленном покрытии получено при наплавке из композиционного электрода с гальваническим слоем меди толщиной 10 мкм и хрома 23 мкм. Распределение хрома по сечению дендритов при одновременном легировании более равномерное и составляет 18–19%, в бориде – 27,92–29,4%, что хорошо коррелирует с данными по содержанию хрома в наплавленном покрытии с одинаковой толщиной гальванического хрома без меди.

Как видно из приведенных данных, дополнительное легирование хромом структурных составляющих происходит неравномерно. Больше количество хрома уходит на легирование боридов, приблизительно в 1,5–1,6 раза больше, чем дендритов. Количество введенного хрома в наплавленное покрытие с учетом его перераспределения между структурными составляющими и количеством фаз приблизительно равно массе гальванического хрома на композиционном электроде.

Распределение меди в наплавленном покрытии практически равномерное как по сечению дендрита, так и в твердой фазе и зависит от толщины гальванического слоя на электроде (см. таблицу). Так, при толщине гальванического слоя на электроде 10 мкм количество меди в наплавленном покрытии составляет 1,3–1,4%; а при толщине слоя 25 мкм – 3,5–3,7%. Весовое соотношение меди на наплавочном электроде и меди в наплавленном покрытии позволило определить коэффициент усвоения меди при наплавке, который равен 0,6–0,75. Такое же значение коэффициента усвоения меди наблюдается и при наплавке электродом с двумя гальваническими покрытиями меди и хрома.

Выводы

1. Установлено распределение хрома и меди в наплавленном покрытии, полученном из поверхностно-легированной проволоки бором с дополнительно нанесенным гальваническим покрытием хрома и меди. Показано, что содержание хрома в дендритах в 1,5–1,6 раза меньше, чем в боридах; распределение меди по структуре равномерное.
2. Установлены коэффициенты усвоения хрома и меди при аргонно-дуговой наплавке из проволочно-го электрода с гальваническим покрытием. Коэффициент усвоения для хрома равен 0,9–1,0; для меди – 0,6–0,75.
3. Для повышения коррозионной стойкости наплавленных покрытий, получаемых из поверхностно-легированной проволоки бором, необходимо дополнительно нанести на проволоку гальваническое покрытие хрома толщиной не менее 30–35 мкм, меди толщиной 25–30 мкм.

Литература

1. Стефанович А. В. Исследование структуры и свойства наплавленных покрытий, полученных из проволоки, предварительно подвергнутой химико-термической обработке: Сб. «Металлургия». Минск: БНТУ, 2011. Ч. 2. С. 179–188.
2. Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М.: Metallurgia, 1987. 798 с.
3. Грачев С. В. Специальные стали. М.: Metallurgia, 1985. 408 с.

References

1. Stefanovich A. V. Issledovanie struktury i svoistva naplavlennykh pokrytiy, poluchennykh iz provoloki, predvaritelno podvergnutoy himiko-termicheskoy obrabotke [Research of the structure and features of fused coatings, received from the chemical and thermal treated wire]. *Sb. Metallurgia – Fondry*. Minsk, BNTU Publ., 2011, part 2, pp. 179–188.
2. Khimushin F. F. *Nergaveyuschie stali* [Nonrusting steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987. 798 p.
3. Grachev S. V. *Spetsialnye stali* [Special steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 408 p.

Сведения об авторах

Стефанович Василий Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Материаловедение в машиностроении», Белорусский национальный технический университет, Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65. Velcom: +375-29-3-38-18-57.
Борисов Станислав Витальевич, старший преподаватель кафедры «Материаловедение в машиностроении», Белорусский национальный технический университет, Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65. Velcom: +375-29-6-35-53-02.
Стефанович Александр Васильевич, ассистент кафедры «Материаловедение в машиностроении», Белорусский национальный технический университет, Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65. Velcom: +375-29-3-02-55-51.

Information about the authors

Stefanovich Vasily, Ph. D in Engineering, the Associate Professor of Materials science in Mechanical Engineering Chair of Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti ave., Minsk, 220013 Belarus. GSM + 375 29 3 38 18 57.
Borisov Stanislav, Senior Scientist of Materials Science in Mechanical Engineering Chair of Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti ave., Minsk, 220013 Belarus, GSM + 375 29 6 35 53 02.
Stefanovich Alexander, Assistant to of Materials Science in Mechanical Engineering Chair of Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti ave., Minsk, 220013 Belarus, Minsk, GSM + 375 29 3 02 55 51.