

УДК 621.785.5

Дьяченко Ю. Г.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ У7 ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Известно, что порошковые борохромоалитированные поверхностные слои обеспечивают углеродистым сталям наиболее высокие показатели износостойкости, чем при однокомпонентном борировании или двухкомпонентном борохромировании [1]. Наиболее оптимальная температура процесса комплексного насыщения бором, хромом и алюминием для стали У7, при которой формируется поверхностный слой, обеспечивающий высокие показатели износостойкости, составляет  $1000^{\circ}\text{C}$ . Обеспечение высокой износостойкости стали У7 после борохромоалитирования связано с формированием поверхностного слоя, в частности, глубины слоя и продолжительности выдержки при температуре процесса [2].

Целью работы является определение химического состава поверхностного износостойкого слоя стали У7.

Для установление факта присутствия боридов хрома в поверхностном слое стали У7 после борохромоалитирования были проведены исследования с помощью растрового электронного микроскопа JSM 6360LA, оснащенного системой рентгеноспектрального энергодисперсионного микроанализа JED 2200, на поперечном шлифе, структура которого соответствует структуре, приведенной на рис. 1, в.

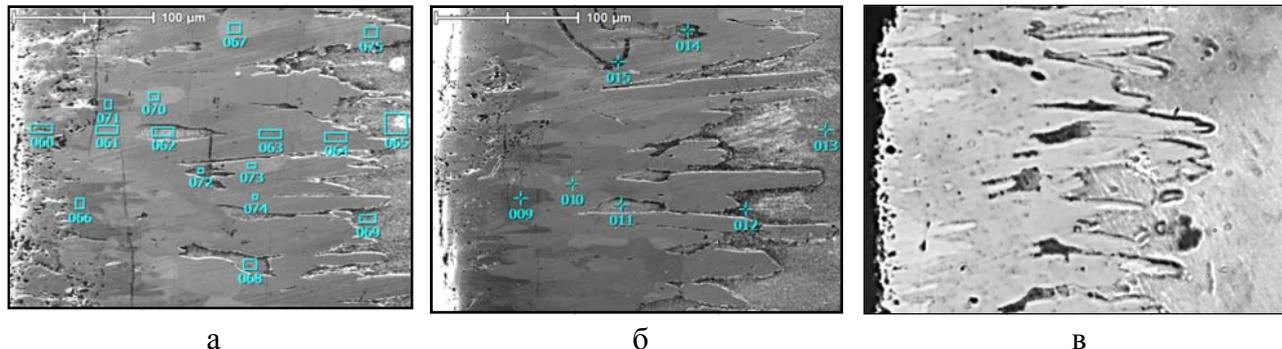


Рис. 1. Микроструктура борохромоалитированной стали У7 (в) подвергнута рентгеноспектральному микроанализу (а, б):

а – изображение в режиме вторичных (низкоэнергетических) электронов с отмеченными местами анализа,  $\times 450$ ; б – изображение в режиме отраженных (высокоэнергетических) электронов,  $\times 450$ ; в – изображение после теплового травления,  $\times 450$

Работу выполнили при ускоряющем напряжении 10 кВ и диаметре электронного зонда 4 нм, при этом диаметр зоны возбуждения рентгеновского излучения составлял порядка 1 мкм. Определение состава фаз выполнили безэталонным методом расчета фундаментальных параметров: расчетом поправочных коэффициентов отражения электронов зонда, поглощения характеристического рентгеновского излучения и флуоресценции.

Для исследования микроструктуры диффузионных покрытий применяли металлографический метод исследований с помощью микроскопа МИМ-8М и выявлению микроструктур с использованием химического травления в 4% растворе азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте, а так же теплового травления путем нагрева полированного микрошлифа в камерной печи при  $400^{\circ}\text{C}$  в течение 30 мин и охлаждения на воздухе.

На рис. 1, а и 1, б отмечены поля, в пределах которых определяли химический состав фаз. По внешнему виду темно–серые поля рис. 1, а и 1, б следует признать светлыми участками рис. 1, в, серые поля рис. 1, а и 1, б это коричневые участки боридов рис. 1, в, темные участки рис. 1, а и 1, б соответствуют темным участкам твердого раствора рис. 1, в. Результаты химического анализа фаз, химический состав отмеченных мест (рис. 1, а и 1, б) по результатам рентгеноспектрального микроанализа поперечного шлифа борохромоалитированного образца из стали У7 приведенные в табл. 1 и на рис. 2 показывают, что содержание бора в темно – серых участках примерно в два раза больше, чем в серых участках, а в темных участках бор отсутствует, содержание кремния и алюминия высокое. Отсюда следует, что светлые бориды рис. 1, в, предполагаемые нами как бориды, обогащенные хромом, не содержат хром, а содержат повышенное количество бора.

Таблица 1

Результаты рентгеноспектрального микроанализа поперечного шлифа борохромоалитированного образца из стали У7

№	B	Al	Si	Fe	Сумма	№	B	Al	Si	Fe	Сумма
060	8,64	0,4	0	90,97	100	069	0	0	0,25	99,75	100
061	6,77	0	0	93,23	100	070	7,46	0	0	92,54	100
062	0	0,58	4,95	94,47	100	071	14,3	0	0	85,7	100
063	7,02	0	0	92,98	100	072	0	0,45	4,38	95,17	100
064	7,40	0	0	92,6	100	073	7,37	0	0	92,63	100
065	0	0	0,37	99,63	100	074	8,12	0	0	91,88	100
067	6,44	0	0	93,56	100	075	6,82	0	0	93,18	100
068	0	0,53	2,52	96,95	100	009	14,8	0	0	85,13	100
010	6,84	0	0	93,16	100	011	0	0,41	3,66	95,93	100
012	0	0	0,17	99,83	100	013	0	0	0,22	99,78	100
014	0	0,55	3,83	95,62	100	015	5,71	0	0	94,29	100

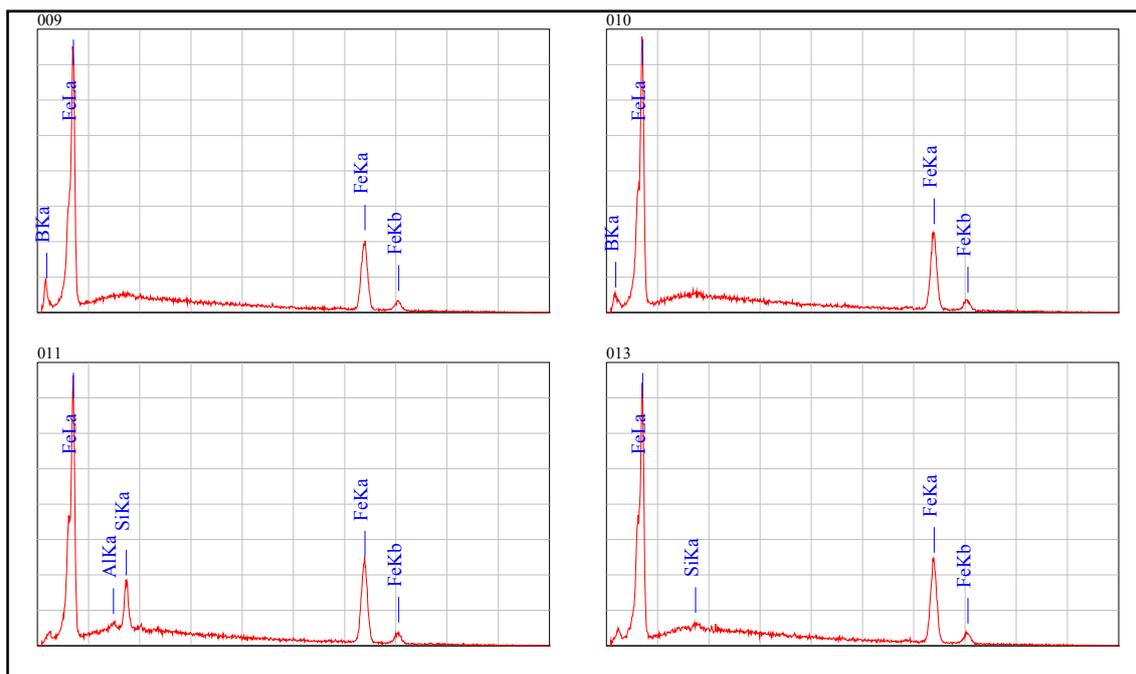


Рис. 2. Результаты рентгеноспектрального микроанализа (спектрограммы) поперечного шлифа борохромоалитированного образца из стали У7

Коричневые бориды, предполагаемые как обычные бориды, содержат незначительное количество бора. Твердый раствор не содержит бора, а содержит кремний и алюминий (рис. 3).

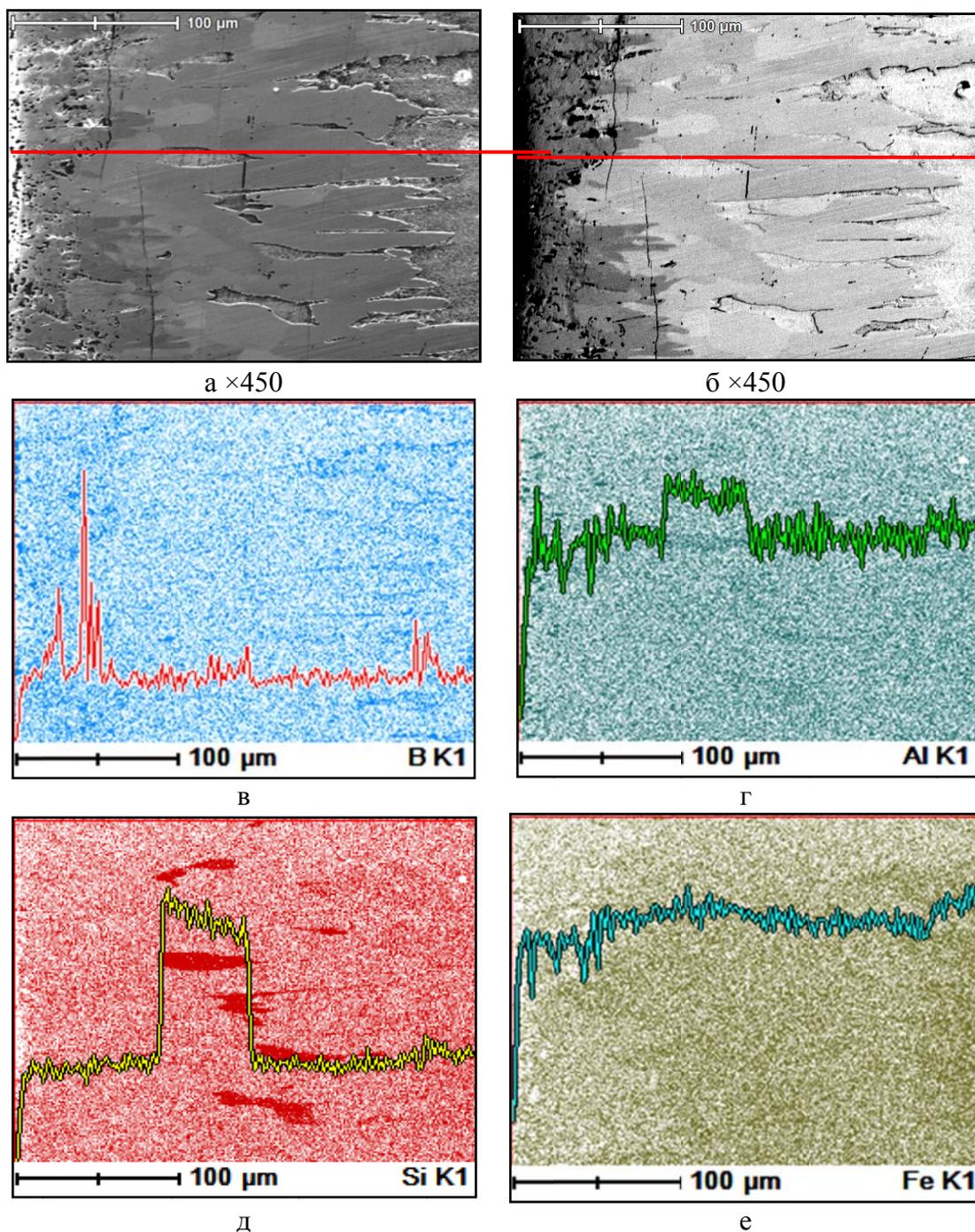


Рис. 3. Результаты рентгеноспектрального микроанализа в режиме картирования и сканирования по линии поперечного шлифа борохромоалитированного образца из стали У7: а – изображение в режиме вторичных (низкоэнергетических) электронов; б – изображение в режиме отраженных (высокоэнергетических) электронов; в, г, д, е – изображение в режиме характеристических рентгеновских лучей

Наличие кремния и алюминия в твердом растворе подтверждается исследованиями в режиме картирования, где большему содержанию элемента соответствует более интенсивная окраска, и сканирования поперечного шлифа борохромоалитированного образца из стали У7, а также получение изображения в режиме характеристических рентгеновских лучей (рис. 3).

## ВЫВОДЫ

На основании полученных данных можно сделать вывод, что светлые бориды это соединения FeV, как более легированные бором, меньше окисляются при тепловом травлении и сохраняют белую окраску. Вместе с тем не исключено, что меньшему окислению FeV способствует также присутствующий в них хром, который нельзя обнаружить, возможно, в связи с чувствительностью метода. В пользу такого предположения следует признать тот факт, что рентгеноструктурный анализ показал присутствие боридов хрома CrB, Cr<sub>2</sub>B в верхней части слоя после борохромоалитирования, присутствие хрома в бориде было обнаружено в работе [3]. Серые участки боридов, содержащие меньшее количество бора, представляют собой соединения Fe<sub>2</sub>B, которые сильно окисляются при тепловом травлении. Повышенное содержание кремния в твердом растворе свидетельствует о том, что он диффундировал из феррохрома, содержащего Cr – 68.49 %, Fe – 19.86 % и Si – 7.27 %. Этот факт косвенно подтверждает, что FeCr участвовал в диффузионном процессе, при насыщении стали при насыщении стали, кремний растворился в твердом растворе, а хром образовал бориды.

Были поставлены дополнительные исследования, которые показали, что после борирования стали У7 в порошковой смеси состоящей из 98 % В<sub>4</sub>С 2 % NH<sub>4</sub>Cl при 1000°C, 5 ч, в ее структуре после теплового травления в отдельных местах в поверхностной зоне боридов наблюдаются светлые боридные включения (рис. 4) аналогичные тем, которые наблюдаются на рис. 1, в, это указывает на то, что тепловое травление позволяет дифференцировать боридные фазы FeV и Fe<sub>2</sub>B.



Рис. 4. Микроструктура поверхностного слоя стали У7 после борирования, подвергнутая тепловому травлению, ×100

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заблоцкий В. К. Применение борохромоалитированных поверхностных слоев в условиях абразивно-жидкостного и ударно-механического трения по закрепленным и незакрепленным частицам. / В. К. Заблоцкий, Ю. Г. Дьяченко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук праць. – Краматорськ : ДДМА, 2009. – № 1(15). – С. 124–127
2. Заблоцкий В. К. О некоторых особенностях получения износостойких борохромоалитированных слоев на поверхности изделий из углеродистых сталей, полученных при химико-термической обработке / В. К. Заблоцкий, Ю. Г. Дьяченко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 1(6Е). – С. 74–78.
3. Косс Е. В. Борохромоалитирование стали 45/ Е. В. Клсс, И. М. Шевченко, И. И. Андриющенко // Одесский политехнический институт – Одесса, 1988. – 11 с. Деп. в УкрНИИТИ 12.09.88, №2314 Ук88.