

УДК 621.793.6:669.35

Канд. техн. наук С. Н. Ткаченко

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

## УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

*Рассмотрено влияние поверхностного СВС-упрочнения материалов на эксплуатационные характеристики в условиях производства.*

**Ключевые слова:** СВС-упрочнение, поверхность, сталь, чугун, графит, микроструктура.

### Введение

За последнее время все большую **актуальность** приобретают детали из жаростойких, коррозионностойких и износостойких конструкционных материалов [1]. В металлургическом производстве и машиностроении значительную часть себестоимости продукции формируют затраты на ремонт оборудования, узлов и агрегатов ответственного назначения [2]. Решение этих задач тесно связано с упрочнением поверхности изделий [3]. Однако все известные методы характеризуются ресурсо- и энергоемкостью, а также длительностью [4]. В связи с этим является актуальной разработка новых способов химико-термической обработки, позволяющих регулировать состав и структуру покрытий, а также обеспечивающих необходимые эксплуатационные характеристики при минимальном времени их формирования [5]. Такими технологиями могут служить способы, основанные на явлении самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [6–8].

### Анализ литературных данных и постановка проблемы

Сущность метода СВС заключается в проведении экзотермических реакций в режиме распространения волны горения с образованием продуктов горения в виде соединений и материалов, представляющих практическую ценность [6]. Такой синтез материалов значительно отличается от стандартных методов порошковой металлургии, основанных на спекании химически инертных соединений и обладает рядом очевидных преимуществ:

- 1) формирование активных химических и термических зон, что позволяет интенсифицировать превращения реагентов и приводит к образованию нужных продуктов;
- 2) использование менее дорогой химической энергии (тепловыделение при экзотермических реакциях) вместо электрической для достижения высоких температур, требуемых при получении продуктов;
- 3) использование относительно простого оборудования (вместо печей и других нагревательных устройств);

4) использование в процессе быстрого послыонного нагрева больших объемов реагентов вместо медленно-го прогрева через стенки от внешних источников теплоты.

### Цель и задачи исследования

Целью и задачей исследования являлась разработка оптимальной технологии СВС- процесса получения защитных слоев, позволяющей использовать конечный продукт шихты для нанесения покрытий на высокоуглеродистые материалы в условиях производства.

### Материалы и методика исследования

В качестве исследуемых материалов подложки были выбраны материалы марки сталь Ст45, АСЧ-1 (ГОСТ 1585-85), СЧ 20, СЧ 25 (ГОСТ 805 95), ВЧ 45-5, ВЧ 38-17, ВЧ 42-12 (ДСТУ 3925-99), композиционные материалы марки УУКМ на основе углеродной ткани «Урал НШ-215» и электродный графит ЭГ, существенно различающиеся по степени дефектности структуры (пористость и содержание элементов).

В качестве реакционной насыщающей среды использовались смеси порошков дисперсностью 250–400 мкм следующих материалов:

1.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – оксид хрома (III) (ТУ 6-09-4272-84) – источник хрома в покрытии.
2.  $\text{B}_2\text{O}_3$  – оксид бора (ТУ 6-12-94-78 НПО «Бор») – источник бора в покрытии.
3.  $\text{SiO}_2$  – оксид кремния (ТУ 48-4-174-77) – источник кремния в покрытии.
4.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – оксид алюминия (III) (ТУ 6-09-426-75) – инертная добавка.
5. Al – алюминий марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82) – восстановитель оксидов, источник алюминия в покрытии.
6. В – бор технический (ТУ 6-08-374-77) – источник бора в покрытии.
7. Si – кремний марки Кр1 (ТУ 48-4-174-77) – источник кремния в покрытии.
8. NiO – оксид никеля (ГОСТ 4331-78) – источник никеля в покрытии.

9. Hf – порошок гафния (ГОСТ 22517-77) – источник гафния в покрытии.

10. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – оксид тантала (ГОСТ 18904.0-89) – источник тантала в покрытии для стабилизации модификации гафния.

11. Ti – титан марки ПТХ5-1 (ТУ 113-12-132-83) – источник титана в покрытии.

12. Mo – порошок молибдена (ТУ 48-19-316-80) – источник молибдена в покрытии.

13. ZrO<sub>2</sub> – порошок диоксида циркония (ТУ 95 2782-2001) – источник циркония в покрытии.

14. NaCl – натрий хлористый (ГОСТ 4233-77) – активатор процесса насыщения.

15. J<sub>2</sub> – йод металлический (ГОСТ 4159-79) – активатор процесса насыщения.

16. NaF – натрий фтористый (ГОСТ 4463-76) – активатор процесса насыщения.

17. AlF<sub>3</sub> – алюминий фтористый (ТУ 6-09-1122-78) – активатор процесса насыщения.

18. NH<sub>4</sub>Cl – хлористый аммоний (ТУ 6-09-1147-79) – активатор процесса насыщения.

Для исследования фазового состава покрытий использовали дифрактометр рентгеновский стационарный «ДРОН-3М» с рентгеновской трубкой БСВ 23-Cu в CuK<sub>α</sub>-излучении с использованием никелевого фильтра. Дифрактометр оснащен сцинтилляционным блоком детектирования БДС-6-05. Углы дифракции отсчитывались по шкале гониометра ГУР-8 и отметкам на диаграммной ленте самопишущего прибора, со скоростью перемещения счетчика 1 град/мин в диапазоне углов 2θ = 18–110°. Энергодисперсионный рентгено-спектральный качественный микроанализ распределения элементов на поверхности материалов проведен на многоцелевом растровом микроскопе SUPRA 40 VDS фирмы Carl Zeiss с интегрированной системой микроанализа.

### Результаты исследований и их обсуждение

Наряду с основными компонентами шихты – кремнием и бором, в процессе формирования слоев использовались легирующие компоненты – хром, алюминий, никель, гафний, тантал, молибден, а также некоторые другие в незначительном количестве. Легирование слоев придает поверхности специальные свойства, значительно отличающиеся от результатов обычной химико-термической обработки (рис. 1–2) [9]. В случае силицирования, с целью увеличения стойкости материала в агрессивных средах при повышенных температурах, легирующие элементы в покрытиях можно разделить на две основные группы:

- элементы, формирующие защитную оксидную пленку (Al, Cr, Si);

- микролегирующие элементы, улучшающие адгезию оксидной пленки при газовой коррозии (Hf, Si).

Основным элементом для жаростойких покрытий, полученных в условиях СВС, является алюминий, который используется для образования защитной оксидной

пленки α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [10]. В диффузионных покрытиях содержание алюминия находится на уровне 15–25 %. Такое содержание алюминия обеспечивает формирование пленки оксида α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при окислении и достаточную пластичность алюминидов никеля [11]. Вторым важнейшим компонентом покрытий является хром, который обеспечивает формирование пленки α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при пониженном содержании алюминия и входит в состав защитной пленки на основе шпинели Ni(Cr,Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Содержание хрома в высокотемпературных покрытиях обычно находится на уровне 7–20 %. Существенное значение имеет кремний, который вводят для повышения жаростойкости при высокотемпературном окислении и солевой коррозии [12].

Важно подчеркнуть, что в условиях СВС выбор элементов шихты не обусловлен материалом подложки, поскольку в процессе нанесения диффузионных слоев формируются карбидные, боридные и силицидные фазы, значительно превышающие твердость фаз, полученных в изотермических условиях. Это происходит благодаря кратковременным высоким температурам, образующимся в конце стадии теплового самовоспламенения (рис. 3) [13]. Таким образом, этим способом можно наносить слои на любые материалы, способные выдерживать температуру СВС-процесса. Этим объясняется выбор железоуглеродистых сплавов (чугунов и сталей), широко используемых в промышленности и народном хозяйстве, а также материалов с графитовой основой (электрод графитный и углерод-углеродистый композиционный материал) для полного комплексного исследования формирования защитных слоев на различных подложках [14].

Данный метод можно сравнить с технологией ХТО хромистых сталей [15]. При насыщении поверхности стали 20Х углеродом в процессе ХТО формируется слой с содержанием 0,8–1,6 % С (т. е. соответствие сталям У8-У16), который, как правило, подвергают закалке на мартенсит. При использовании в качестве материала основы стали 20Х13 ситуация кардинально меняется. Благодаря содержанию 13 % Cr, тип карбидной фазы меняется с Fe<sub>3</sub>C на (Fe, Cr)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> с твердостью 18000 МПа. В результате на поверхности формируется сплошная корка карбида (Fe, Cr)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> [16]. По аналогии с описанной технологией, СВС-процесс также имеет Cr, но, во-первых, содержащийся в шихте, а не в материале (нет привязки к материалу подложки), а во вторых, данный элемент участвует в реакции теплового самовоспламенения, что является главным условием для осуществления СВС-процесса.

Помимо универсальности данной технологии в отношении выбора материала, стоит сказать о еще одном важном и существенном достоинстве СВС-процесса – это формирование и поверхностных слоев и дополнительно покрытий, что является результатом многослойного, многокомпонентного диффузионного процесса. Схематически разницу между покрытием и слоем можно увидеть на рис. 4.

По своей сути данный процесс является симбиозом двух групп покрытий – диффузионных (слои) и конденсационных (покрытия). Диффузионные слои получают контактным или бесконтактным способами в порошковых смесях с помощью шликеров или в газовой среде, содержащей насыщающие элементы (алитирование, хромирование, кобальтирование, хромоалитирование и др.) [17]. Положительный эффект дает использование двухстадийных технологий, когда на первой стадии осаждают никель, кобальт, хром, а затем проводят алитирование или хромоалитирование. Такие технологии обеспечивают реализацию комплексного легирования поверхностного слоя лопаток ротора турбины газотурбинных двигателей насыщающими элементами [18]. Важнейшим преимуществом диффузионных покрытий является возможность защиты от газовой коррозии труднодоступных поверхностей охлаждаемых лопаток газовых турбин (полости, щели, каналы отверстия перфорации). Конденсационные покрытия получают способами плазменного, вакуумно-плазменного, магнетронного или электронно-лучевого напыления из слитков или брикетов, представляющих собой металлические сплавы для покрытий, например сплавы систем Ni-Cr-Al-Y (СДП-2), Al-Si-Y (ВСДП-11), Ni-Cr-Al-Ta-W-Hf-Y (СДП-ТВГ) и др [19].

Также стоит заметить, что при СВС-технологии диффузия играет роль как в образовании сцепления (адгезионная прочность) в процессе формирования слоев,

так и в формировании фазового состава в процессе создания покрытий [20].

Испытание стали 45 после борирования при сухом трении и трении со смазкой показало, что закалка в масло с температуры 850 °С и отпуск в течение 30 с при температуре 550 °С с охлаждением в воде уменьшают потери от износа упрочненного слоя, при толщине борированного слоя ~150 мкм.

Металлографический, микродрометрический, спектральный и фазовый рентгеновский анализы (табл. 1 и рис. 5–7) показали, что в процессе борирования покрытие содержит в своем составе помимо боридных фаз FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>B, Fe<sub>4</sub>B, также карбидные фазы Fe<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Интенсивность пика фазы FeB самая высокая. Бориды железа являются основными фазами, а карбиды присутствуют в незначительном количестве. Образование карбидов свидетельствует о взаимодействии бора с углеродом подложки [21]. В результате углерод существенного влияния на фазовый состав не оказывает, однако регламентирует толщину диффузионного слоя: с его увеличением толщина уменьшается, а дисперсность структурных составляющих увеличивается. Общая структура упрочненной поверхности в условиях СВС имеет следующий вид (рис. 1, а): бориды (зона 1) – FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>B, Fe<sub>4</sub>B; карбиды (зона 2) – Fe<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; силициды (зона 3) – Fe<sub>3</sub>Si, SiCr; подложка (зона 4) – основной материал.

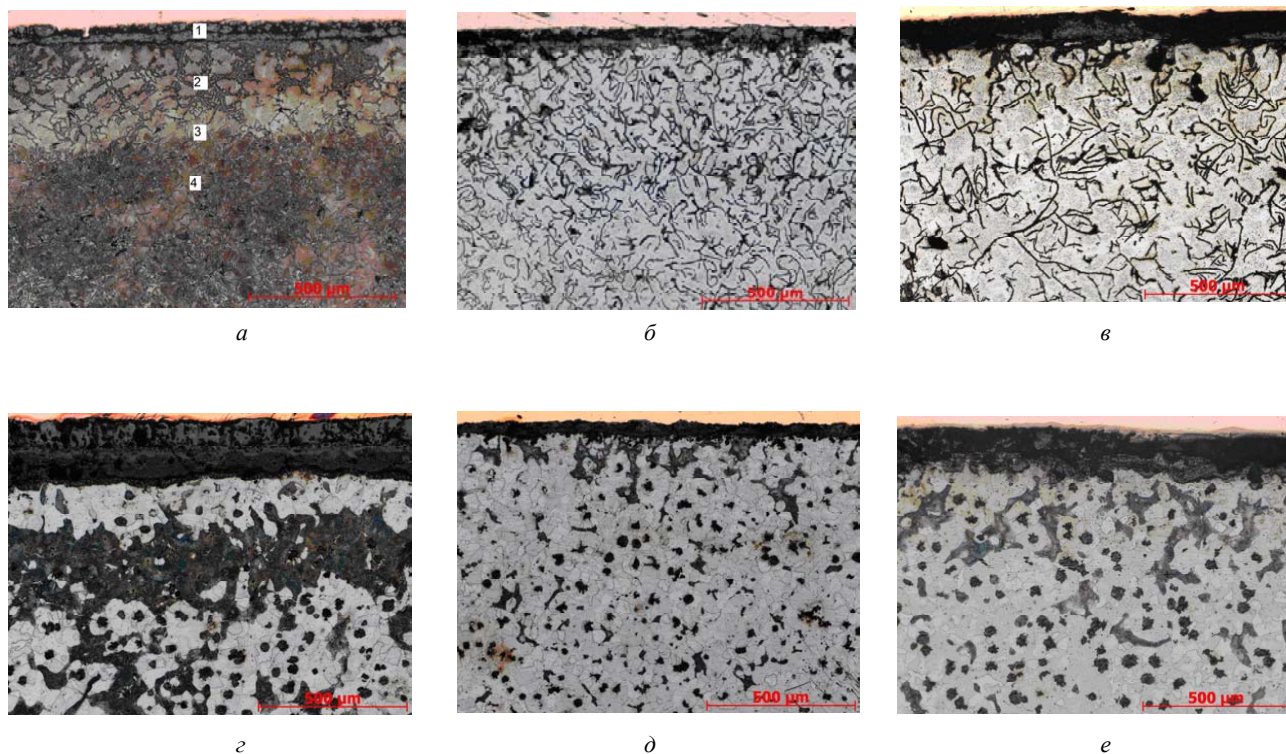


Рис. 1. Микроструктура силицированных покрытий на чугунах,  $\times 200$ :

а – АСЧ-1; б – СЧ-20; в – СЧ-25; г – ВЧ 45-5; д – ВЧ 38-17; е – ВЧ 42-12

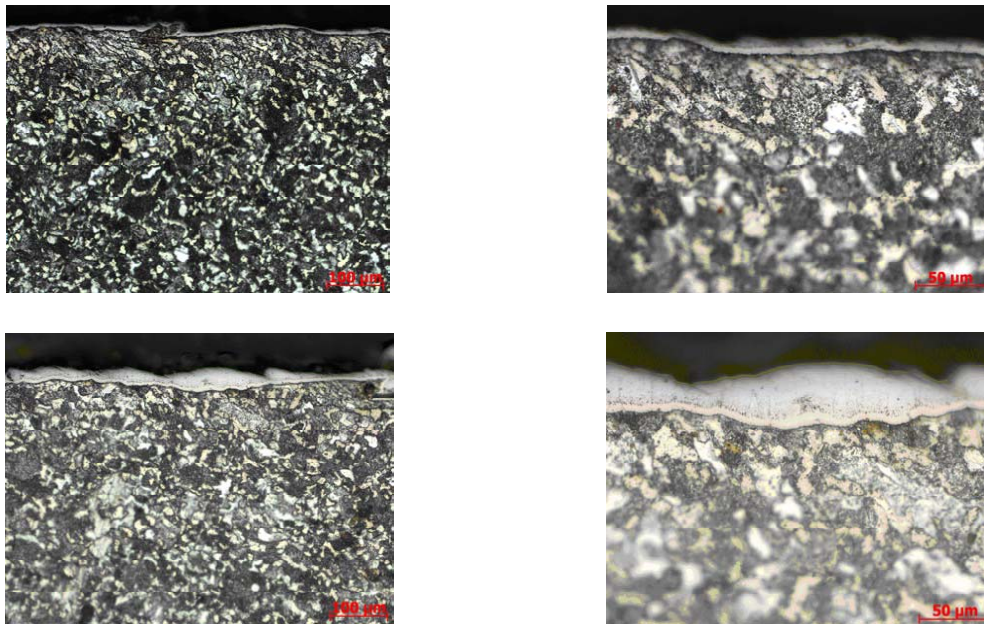


Рис. 2. Фотографии борированной стали марки Ст45, полученные на растровом электронном микроскопе Axiovert 200 ММАТ,  $\times 200$ ,  $\times 400$

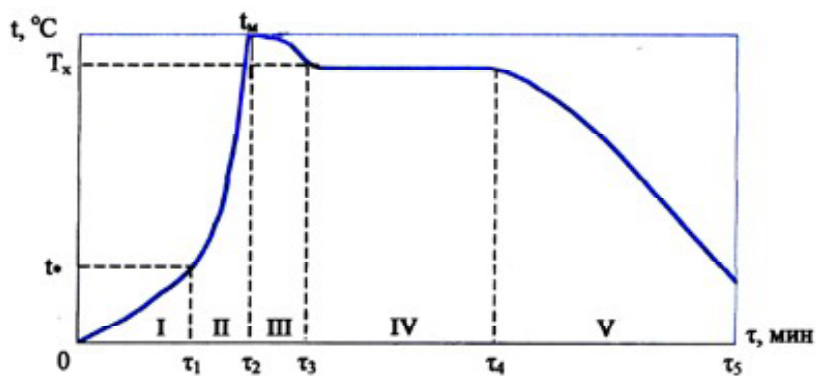


Рис. 3. Характерный ход температурной кривой при образовании защитных покрытий в режиме теплового самовоспламенения: I – стадия инертного прогрева ( $0-\tau_1$ ); II – стадия теплового самовоспламенения ( $\tau_1-\tau_2$ ); III – стадия прогрева ( $\tau_2-\tau_3$ ); IV – стадия изотермической выдержки ( $\tau_3-\tau_4$ ); V – стадия охлаждения ( $\tau_4-\tau_5$ )

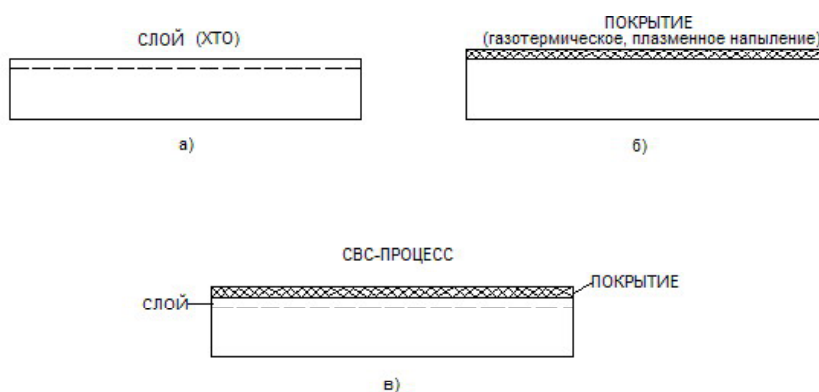


Рис. 4. Схема слоя и покрытия на подложке



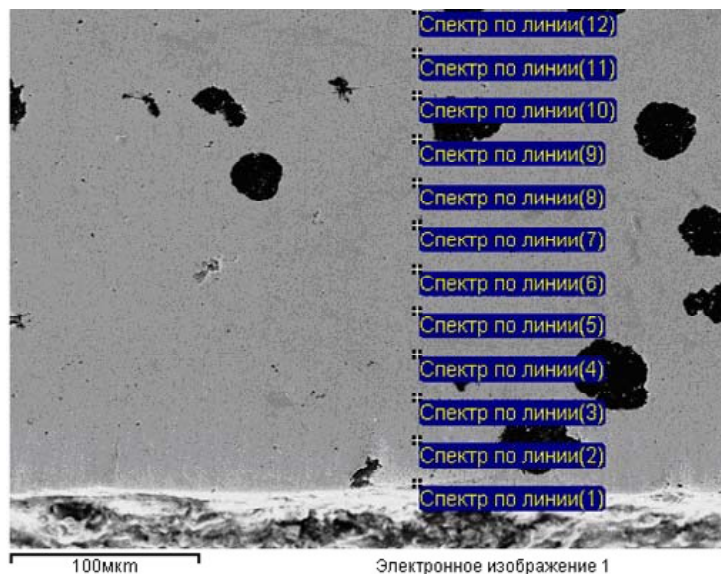


Рис. 5. Электронное изображение чугуна марки ВЧ 45-5

Таблица 1 – Распределение элементов на поверхности силицированной детали из чугуна марки ВЧ 45-5

Спектр	Si, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Итого, %
Спектр по линии(1)	9,52	1,80		88,68	100,00
Спектр по линии(2)	5,18			94,82	100,00
Спектр по линии(3)	3,69			96,31	100,00
Спектр по линии(4)	3,13		0,94	95,93	100,00
Спектр по линии(5)	3,38			96,62	100,00
Спектр по линии(6)	3,28		0,78	95,95	100,00
Спектр по линии(7)	3,28		0,72	96,00	100,00
Спектр по линии(8)	3,35			96,65	100,00
Спектр по линии(9)	3,43		0,65	95,92	100,00
Спектр по линии(10)	3,55			96,45	100,00
Спектр по линии(11)	3,60			96,40	100,00
Спектр по линии(12)	3,24			96,76	100,00
Макс,	9,52	1,80	0,94	96,76	
Мин,	3,13	1,80	0,65	88,68	

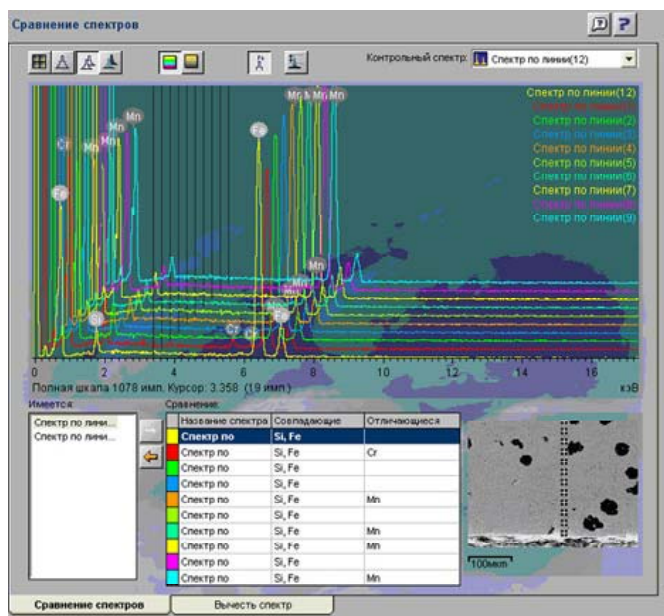


Рис. 6. Распределение элементов в весовых процентах на поверхности силицированной детали из чугуна марки ВЧ 45-5

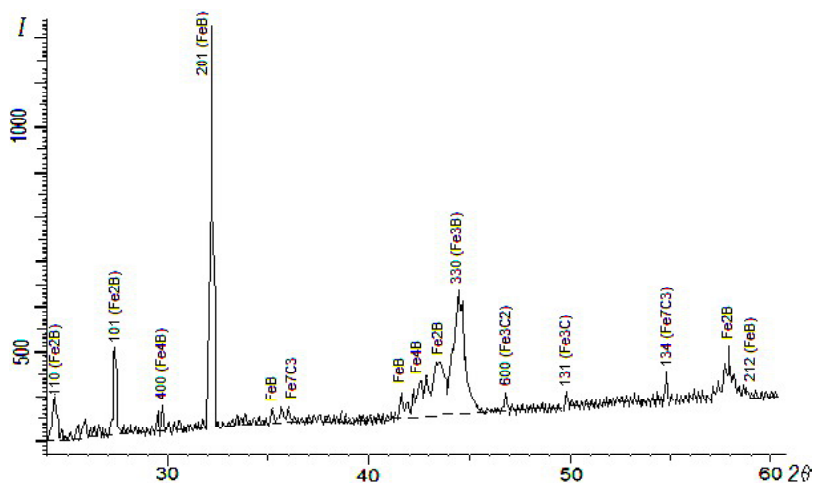


Рис.7. Дифрактограмма с поверхности борированного чугуна ВЧ 45-5

**Перечень деталей на ОАО «Запорожский сталепрокатный завод», борированных в условиях СВС СПЦ (сталепроволочный цех):**

1. Юбки волочильных барабанов из стали Ст40Л
2. Ролики для профильных машин из стали X12Ф1 для ВР-1

**Сеточный цех:**

1. Ролики и втулки сталенавивочного станка шестигранной сетки из стали У8А
2. Ролики рихтовальные из Ст45
3. Ролики из стали X12М
4. Ролики из стали У8А
5. Гильзы из Ст45
6. Вилки левые и правые из стали У8А
7. Штыри (сетка № 20) из стали У8А
8. Ножи отрезные на сетку 15 из стали У10А
9. Ножи просечные на сетку 15 из стали У10А
10. Ножи из стали У10

**Гвоздильный цех:**

1. Ножи обрубные из стали X12Ф1
2. Матрицы плоские
3. Матрицы круглые

**Инструменты:**

1. Губки к затяжным клещам ГСВ (для участка грубо-среднего волочения)
2. Губки к затяжным клещам НТВ (для участка наитончайшего волочения)
3. Кольца стальные для станков «мокрого волочения»

Также на территории ОАО «УкрНИИ Спецсталь» в лаборатории физического металловедения №13 была упрочнена экспериментальная серия следующих деталей:

1. Втулки грязевых нефтяных насосов;
2. Диски пяты турбобура;
3. Вытяжные, гибочные и формовочные штампы;
4. Детали пресс-форм и машин для литья под давлением.

Стойкость указанных деталей после борирования возрастала до 10 раз.

Исходя из целевого назначения, было решено классифицировать детали для борирования по назначению:

1) борирование сложных поверхностей деталей винтовых передач (винтов, червяков) для использования в авиационной, судостроительной, автомобильной и других областях промышленности;

2) получение борированных слоев на сложной поверхности деталей с требуемой толщиной, твердостью и износостойкостью в зависимости от назначения этой поверхности при эксплуатации изделий;

3) штамповый инструмент холодной и горячей деформации (вытяжной, гибочный, формовочный, чеканочный);

4) пресс-формы для прессования сыпучих материалов;

5) волочильный и накатной инструмент;

6) детали нефтяного оборудования (крыльчатки и маховики насосов, линейные задвижки);

7) детали распыливающих форсунок в условиях производства минеральных удобрений (диффузоры, конфузоры, насадки);

8) детали технологической оснастки (зажимные и подающие цанги, кондукторные устройства, различного рода кулачки);

9) нитепроводники ткацкого производства;

10) детали машин и механизмов, работающих в абразивных условиях (детали сельхозмашин, транспортеров, цепей);

11) детали литейных машин и пресс-форм для литья цветных металлов и сплавов и др.

Металлографический, микродюрметрический, спектральный и фазовый рентгеновский анализы (табл. 1 и рис. 5–7) показали, что в процессе борирования покрытие содержит в своем составе помимо боридных фаз FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>B, Fe<sub>4</sub>B, также карбидные фазы Fe<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Интенсивность пика фазы FeB самая высокая. Бориды железа являются основными фазами, а карбиды присутствуют в незначительном количестве. Образование карбидов свидетельствует о взаимодействии бора с углеродом подложки. В результате углерод существенного влияния на фазовый состав не оказывает, однако регламентирует толщину диффузионного слоя : с его увеличением толщина уменьшается, а дисперс-

ность структурных составляющих увеличивается. Общая структура упрочненной поверхности в условиях СВС имеет следующий вид (рис. 1, а): бориды (зона 1) – FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>B, Fe<sub>4</sub>B; карбиды (зона 2) – Fe<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; силициды (зона 3) – Fe<sub>3</sub>Si, SiCr; подложка (зона 4) – основной материал.

#### Выводы

Таким образом, СВС-процесс имеет следующие преимущества по сравнению с альтернативными способами упрочнения:

а) СВС-процесс является универсальным для всех типов подложек, выдерживающих температуру поверхностного упрочнения;

б) экономия времени на проведение поверхностного упрочнения (а следовательно, снижение простоя оборудования)

в) использование энергии экзотермических реакций СВС-процесса вместо дорогих альтернативных источников энергии;

г) образование твердых, прочных карбидных, боридных, силицидных и прочих фаз в результате кратковременных высоких температур при СВС-процессе;

д) образование и слоев, и покрытий, что создает дополнительную защиту деталей.

#### Список литературы

1. Абраимов Н. В. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / Н. В. Абраимов, Ю. С. Елисеев. – М. : Интермет Инжиниринг, 2001. – 622 с.
2. Пугачева Н. Б. Технология поверхностного упрочнения и нанесения покрытий / Н. Б. Пугачева. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ. – УПИ, 2008 – 3 с.
3. Космос и технологии / Ф. П. Санин [и др.]. – Д. : АРТ-ПРЕСС, 2007. – 456 с.
4. Удовицкий В. И. Антифрикционное пористое силицирование углеродистых сталей / В. И. Удовицкий. – М. : Машиностроение, 1977. – 191 с.
5. Ворошнин Л. Г. Антифрикционные диффузионные покрытия / Л. Г. Ворошнин. – Минск : Наука и техника, 1981. – 295 с.
6. Мержанов А. Г. Процессы горения и синтеза материалов / А. Г. Мержанов. – Черноголовка : ИСМАН, 1998. – 512 с.
7. Ткаченко С. Н. Силицирование чугуна марки ВЧ 45-5 в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / С. Н. Ткаченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. трудов. – Вып. 45, ч. 1. – Днепропетровск, ПГАСА, 2008. – С. 202–206.
8. Ткаченко С. Н. Поверхностное упрочнение деталей из высокоуглеродистых материалов в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / С. Н. Ткаченко // Восточно-европейский журнал пере-

довых технологий, 2/5. – (62). – Днепропетровськ, 2013. – С. 30–34.

9. Абраимов Н. В. Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин / Н. В. Абраимов. – М. : Машиностроение, 1993, 336 с.
10. Ткаченко С. Н. Силицирование чугуна марки ВЧ 45-5 в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / С. Н. Ткаченко // Всеукраинский информационный журнал «Главный механик». – 2008. – № 4. – С. 20–23.
11. Строганов Г. Б. Жаропрочные покрытия для газовых турбин / Г. Б. Строганов, В. М. Чепкин, В. С. Терентьева. – М. : Навигатор-Экстра, 2000. – 165 с.
12. Ткаченко С. Н. Силицирование стали X в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / С. Н. Ткаченко // Всеукраинский информационный журнал «Главный механик». – 2008. – № 5. – С. 20–23.
13. Абраимов Н. В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / Н. В. Абраимов, Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 560 с.
14. Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка материалов в активизированных средах / Б. Н. Арзамасов. – М. : Машиностроение, 1979. – 580 с.
15. Шкретов Ю. П. Установки для получения жаростойких диффузионных покрытий газовым циркуляционным способом на наружных и внутренних поверхностях рабочих лопаток ГТД и ГТУ / Ю. П. Шкретов, Л. М. Викулина, А. М. Терехин // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – № 10. – 200 с.
16. Симонов В. Н. Хромоалитирование циркуляционным способом охлаждаемых лопаток газовых турбин / В. Н. Симонов. – М. : Металловедение и термическая обработка металлов. – 2007. – № 7 (625). – С. 36–39.
17. Абраимов Н. В. Структурные изменения в алюминидном покрытии на сплаве ЖС32 при баротермической обработке / Н. В. Абраимов, А. М. Терехин, Ю. П. Шкретов // Коррозия: материалы, защита. – 2008. – № 9. – С. 23–28.
18. Абраимов Н. В. К вопросу об эффективности многокомпонентных покрытий для жаропрочных сплавов / Н. В. Абраимов // Коррозия: материалы, защита. – 2005. – № 10. – С. 10–13.
19. Никитин В. И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин / В. И. Никитин. – Л. : Машиностроение, 1987. – 272 с.
20. Косицин С. В. Влияние кобальта на структурно-фазовую стабильность и свойства сплавов Ni-Co-Cr-Al вблизи эвтектических составов / В. С. Косицин // ФММ. – 1999. – Т. 88, № 3. – С. 85–98.
21. Абраимов Н. В. Методика испытаний сопротивляемости сплавов и покрытий солевой коррозии / Н. В. Абраимов, Ю. П. Шкретов, А. В. Бобыр // Коррозия: материалы, защита. – 2007. – № 6. – С. 5–6.

Одержано 30.10.2013

**Ткаченко С.М. Зміцнення поверхні матеріалів методом саморозповсюджувального високотемпературного синтезу**  
Розглянуто вплив поверхневого СВС-зміцнення матеріалів на експлуатаційні характеристики в умовах виробництва.

**Ключові слова:** зміцнення, поверхня, сталь, чавун, графіт, мікроструктура.

**Tkachenko S. Work-hardening of surface of materials by method of self-propagating high temperature synthesis**  
Influence of the surface self-propagating high temperature synthesis (SHS) work-hardening of materials on operating properties in the production conditions was considered.

**Key words:** SHS- work-hardening, surface, steel, cast-iron, carbon, microstructure.