

## СИЛИЦИРОВАНИЕ ЧУГУНА И СТАЛИ В УСЛОВИЯХ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

*Для обеспечения необходимых поверхностных свойств деталей из чугунов и сталей, применялось силицирование в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. В качестве исследования эксперименты проводили на образцах чугунов марки АСЧ-1 (ГОСТ 1585-85), СЧ-20, СЧ-25 (ГОСТ 805-95), ВЧ 45-5, ВЧ 38-17, ВЧ 42-12 (ДСТУ 3925-99) и образцах стали марки ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ (ГОСТ 801-78). В результате работы была исследована микроструктура, определена микротвердость и толщина поверхностного слоя.*

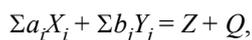
**Ключевые слова:** самораспространяющийся высокотемпературный синтез, диффузия, поверхностное упрочнение, микроструктура, поверхностный слой, микротвердость.

### Введение

Благодаря высоким технологическим и физическим (тепловые свойства, электрические и магнитные характеристики) свойствам чугунов и стали, используемых в качестве материала для изготовления деталей машин и аппаратов химической промышленности, конструкционного материала, гильз для двигателей кораблей, прокатных валков листовых станков, подшипников скольжения, втулок, поршневых колец, колес, шаров для мельниц, применяется силицирование чугунов и сталей методом теплового самовоспламенения, заключающегося в совмещении химических транспортных реакций с процессом теплового самовоспламенения порошковых смесей.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) представляет собой высокоинтенсивное экзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, способные к самопроизвольному распространению в виде волны горения [1]. Нанесение защитных покрытий на рабочую поверхность материала методом СВС осуществляется как в режиме горения, так и в режиме теплового самовоспламенения.

Химизм процесса может быть представлен следующим выражением:



где  $Q$  – тепловой эффект;

$X$  – Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W и др.;

$Y$  – B, C, N, Si, Se, S, Al и др.;

$Z$  – бориды, карбиды, нитриды, силициды и др.

Элементы  $X$  представляют собой порошки металлов,  $Y$  – используются в порошкообразном, жидком или газообразном состояниях, продукт  $Z$  является тугоплавким и при температуре горения находится обычно

в твердом состоянии. Элементы  $X$  (металлы) играют роль горючего, элементы  $Y$  (неметаллы) – роль окислителя. Химическое взаимодействие элементов протекает в конденсированной фазе даже в случае, если один из реагентов газ. В большинстве сочетаний взаимодействие  $X$  с  $Y$  происходит с выделением большого количества тепла, что и предопределяет возможность горения. Таким образом, СВС представляет собой сильноэкзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, протекающее в режиме горения.

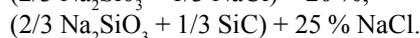
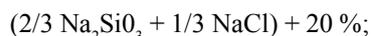
СВС является одним из самых высокотемпературных процессов горения ( $t_z = 2500 - 4000$  °С).

В данной работе силицированию в условиях СВС подвергались отливки из серого, ковкого и высокопрочного чугуна с целью повышения их коррозионной стойкости.

Природа фаз, возникающих на поверхности чугунных изделий, и кинетика их развития определяются в основном методом силицирования и химическим составом металлической основы. Форма графитных включений существенного влияния на фазовый состав и кинетику формирования диффузионного слоя не оказывает [2, 4, 5].

### Методика проведения исследования

Для насыщения использованы расплавы на основе моносилката натрия:



Из приведенных данных видно, что рост глубины силицированного слоя удовлетворительно подчиняется общим закономерностям формирования однофазных диффузионных слоев. Некоторые отклонения

от экспоненциального и параболического законов роста диффузионного слоя могут быть связаны с изменением содержания углерода в металлической основе при изменении условий насыщения.

Эксперименты проводили на образцах чугунов марки АСЧ-1 (ГОСТ 1585-85), СЧ-20, СЧ-25 (ГОСТ 805-95), ВЧ 45-5, ВЧ 38-17, ВЧ 42-12 (ДСТУ 3925-99) и образцах стали марки ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ (ГОСТ 801-78).

Микроструктура упрочненного слоя исследовалась на световом микроскопе «Neophot-2». Микротвердость

измеряли на приборе «ПМТ-3» при нагрузке на индентор 1Н.

Содержание кремния в слоях чугунов составляет 11–13 %, при таком содержании кремния получают малопористые диффузионные силицированные слои, стойкие в агрессивных средах [3].

Химический состав исследуемых марок чугуна и стали приведен в табл. 1 и табл. 2.

Время изотермической выдержки составило 4 ч.

Результаты измерения микротвердости поверхностных слоев чугуна и стали по сравнению с исходными материалами приведены на рис. 1 и рис. 2.

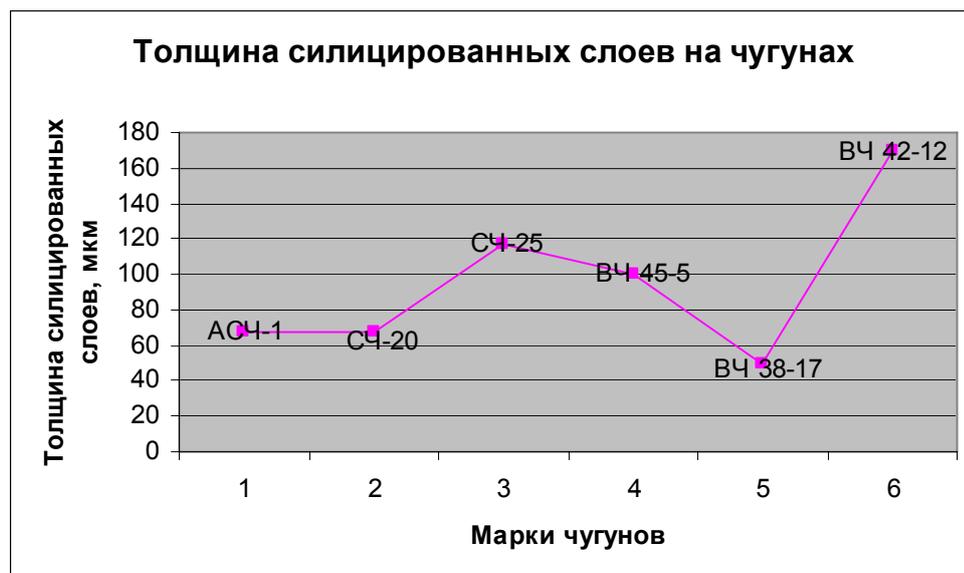
**Таблица 1** – Химический состав исследуемых чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, в % (массовая доля)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
АСЧ-1	3,2–3,6	1,3–2,0	0,6–1,2	0,15–0,3	≤0,12	0,2–0,4
СЧ-20	3,3–3,5	1,8–2,4	0,7–0,9	≤0,25	≤0,15	–
СЧ-25	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	≤0,2	≤0,15	–
ВЧ 45–5	2,7–3,7	1,6–2,7	0,5–0,6	≤0,10	0,10	–
ВЧ 38–17	2,7–3,7	1,6–2,7	0,5–0,6	≤0,10	0,10	–
ВЧ 42–12	2,8–3,8	1,4–2,5	0,5–0,6	≤0,10	0,10	–

**Таблица 2** – Химический состав исследуемой стали

Страна, организация	Нормативный документ	Марка стали	C	Si	Mn	Cr	не более				
							P	S	Ni	Cu	Mo
СНГ <sup>1</sup>	ГОСТ 801–78	ШХ15	0,95–1,05	0,17–0,37	0,20–0,40	1,30–1,65	0,027	0,020	0,30	0,25	–
СНГ	ГОСТ 801–78	ШХ15СГ	0,95–1,05	0,40–0,65	0,90–1,20	1,30–1,65	0,027	0,020	0,30	0,25	–
СНГ	ГОСТ 801–78	ШХ20СГ	0,90–1,00	0,55–0,85	1,40–1,70	1,40–1,70	0,027	0,20	0,30	0,25	–

Примечание: <sup>1</sup> – Россия, Белоруссия, Казахстан и др.



**Рис. 1.** Толщина силицированных слоев на чугунах

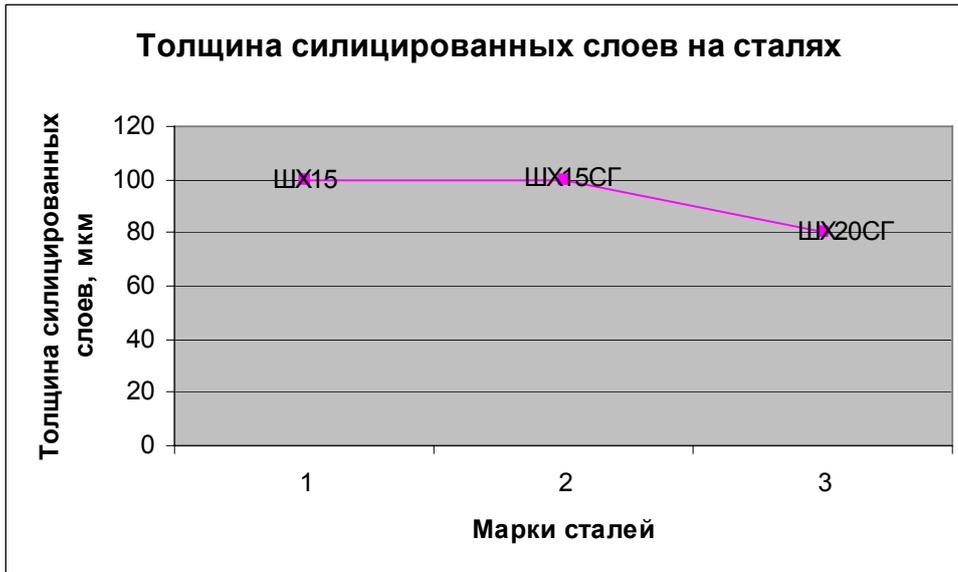


Рис. 3. Микротвердость чугунов и слоев

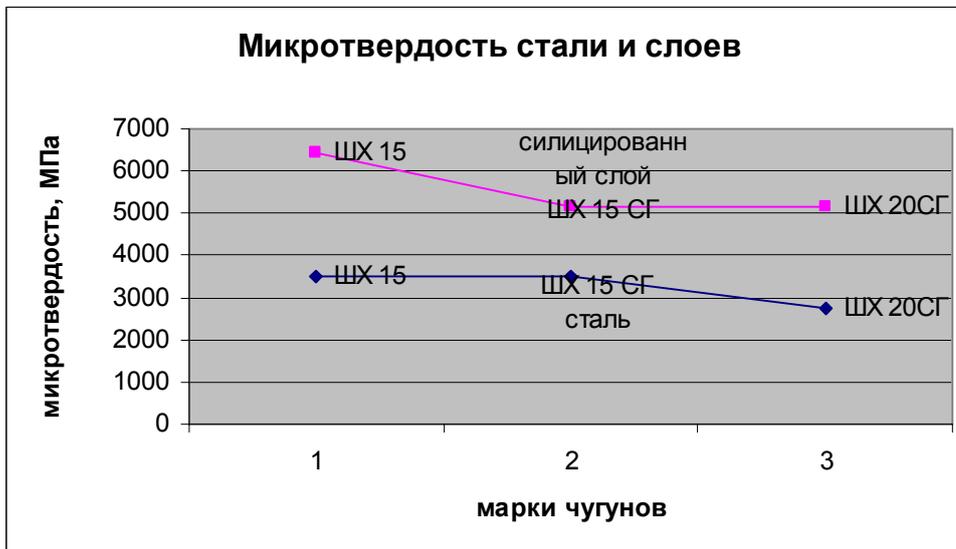


Рис. 4. Микротвердость стали и силицированного слоя



Рис. 5. Микроструктура силицированной стали ШХ15 × 500 и × 1250

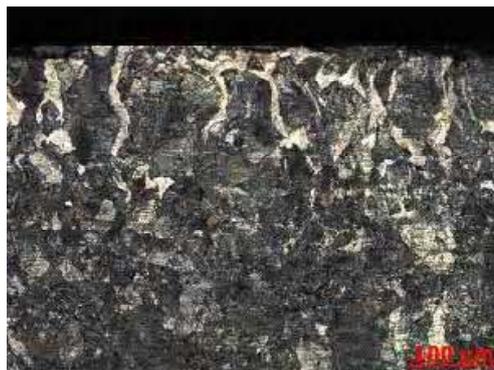


Рис. 6. Микроструктура силіцированої сталі ШЧ15СГ,  $\times 200$

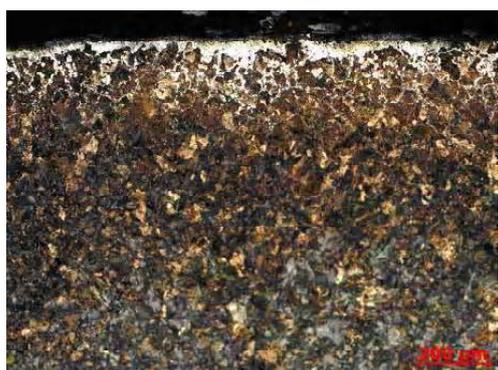


Рис. 7. Микроструктура силіцированої сталі ШЧ20СГ,  $\times 100$  и  $\times 500$

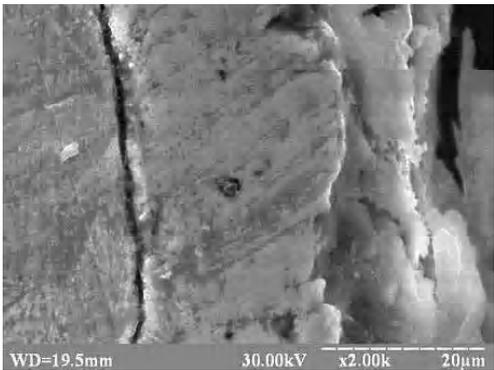


Рис. 8. Фотографії силіцированої сталі ШХ15СГ, отримані на растровому мікроскопі РЕМ 106 У в вторичних електронах,  $\times 500$  и  $\times 2000$



Рис. 9. Фотографії силіцированої сталі ШХ15СГ, отримані на растровому мікроскопі РЕМ 106 У в отражених електронах,  $\times 500$  и  $\times 1000$



*a*



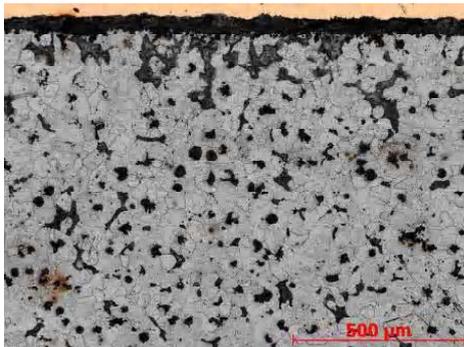
*б*



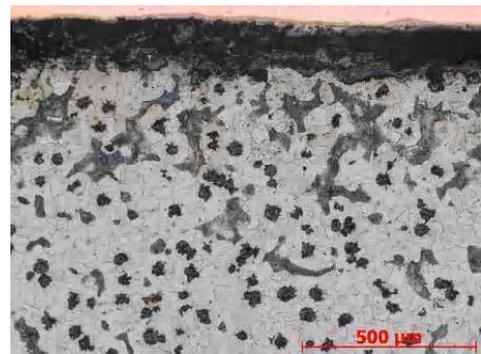
*в*



*г*



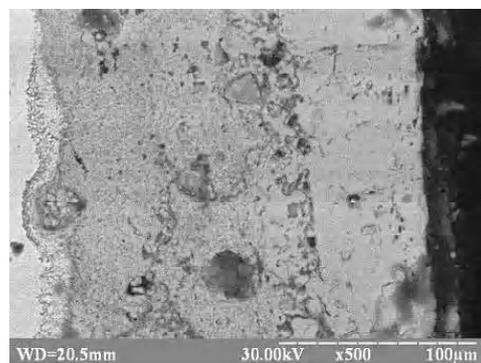
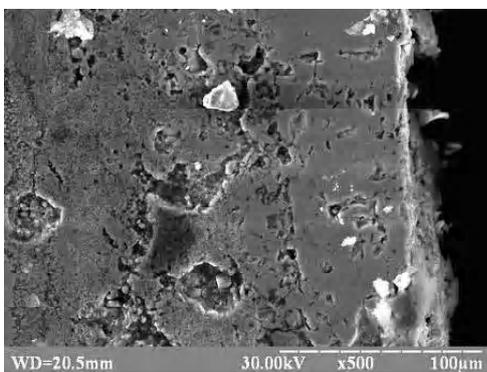
*д*



*e*

**Рис. 10.** Микроструктура силицированных покрытий на чугунах,  $\times 200$ :

*a* – АСЧ-1; *б* – СЧ-20; *в* – СЧ-25; *г* – ВЧ 45-5; *д* – ВЧ 38-17; *e* – ВЧ 42-12,  $\times 50$



**Рис. 11.** Фотографии силицированного чугуна марки ВЧ 45-5, полученные на растровом микроскопе РЭМ 106 У, соответственно во вторичных и в отраженных электронах,  $\times 500$

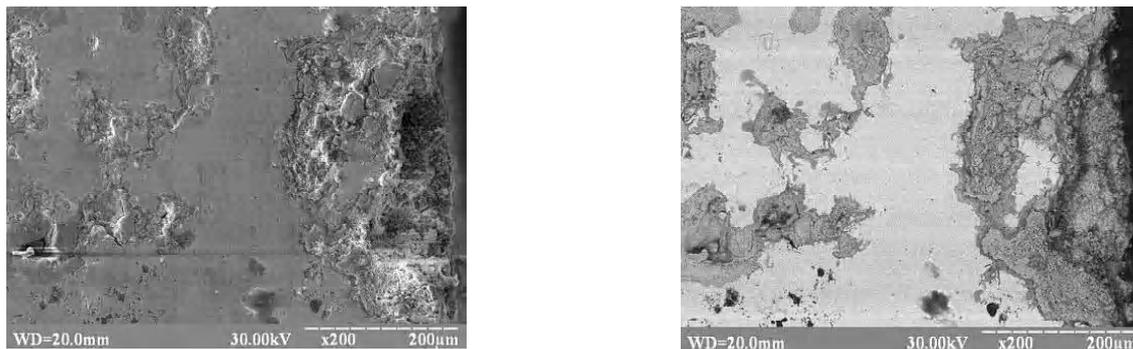


Рис. 12. Фотографії силіцированого чугуна марки ВЧ 38-17, отримані на растровому мікроскопі РЕМ 106 У, відповідно во вторичних і в отражених електронах, × 200

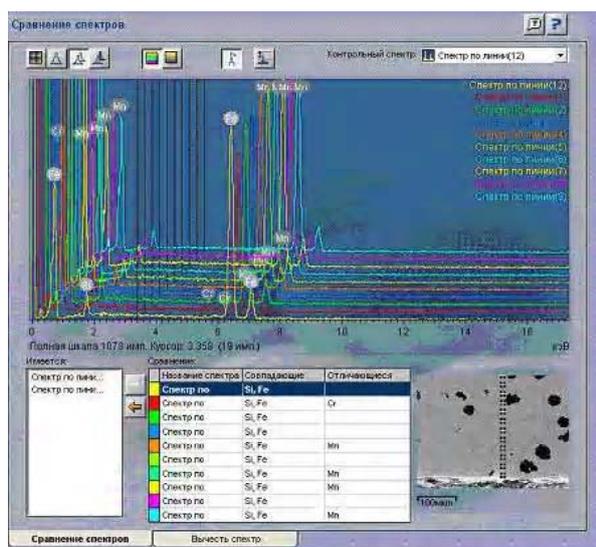


Рис. 13. Распределение элементов в весовых процентах на силіцированной детали из чугуна марки ВЧ 45-5

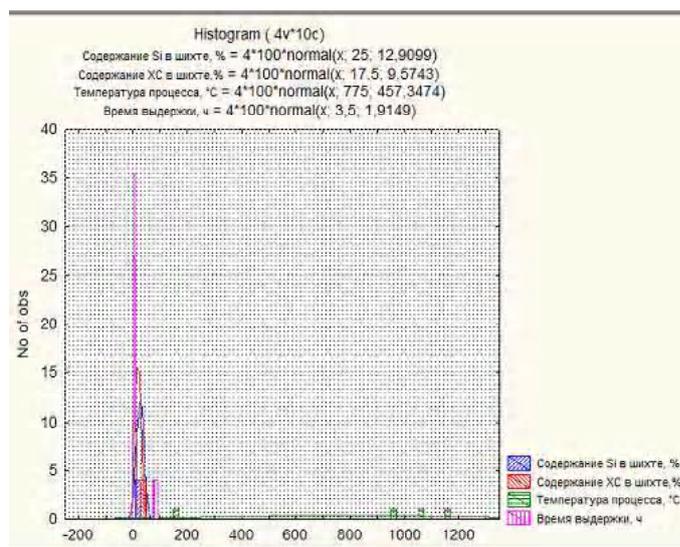


Рис. 14. Распределение элементов в шихте

### Выводы

В результате исследования поверхностных слоев чугуна и стали, полученных методом СВС, установлена оптимальная глубина поверхностного слоя и время изотермической выдержки процесса, определена микротвердость поверхностного слоя.

### Перечень ссылок

1. Sereda B. P. The Modeling of Products Pressing in SHS-Systems / B. P. Sereda, A. A. Zherebtsov, Y. A. Belokon. – Pittsburg, Pe, USA, David L. Lawrence Convantional Centre. ACerS, IOM3, ASM International. Material Science and Technology 2008. CinfERENCE & Exhibition.
2. Sereda B.P. The Reception of Borized Coatings of Eutectic Type on Steel in SHS-conditions / B.P.Sereda. – Pittsburg, Pe, USA, David L. Lawrence Convantional Centre. ACerS,

IOM3, ASM International. Material Science and Technology 2008. CinfERENCE & Exhibition.

3. Серета Б. П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів : підручник / Б. П. Серета. – Запоріжжя : Вид-во ЗДІА, 2008. – 302 с.
4. Мержанов А. Г. Процессы горения и синтеза материалов / А. Г. Мержанов. – Черноголовка : ИСМАН, 1998. – 512 с.
5. Серета Б. П. Теория строения жидкого, кристаллического и аморфного состояния вещества / Б. П.Серета. – Запорожье, 2003. – 179 с.
6. Серета Б. П. Поверхневе зміцнення матеріалів : монографія / Б. П.Серета, Н. С.Калініна, І. В.Кругляк. – Запоріжжя : Вид-во ЗДІА, 2004. – 230 с.
7. Удовицкий В. И. Антифрикционное пористое силіцирование углеродистых сталей / В. И. Удовицкий М. : Машиностроение, 1977. – 191 с.

Одержано 29.04.2010

B. P. Sereda, S .N. Tkachenko

## CAST-IRON AND STEEL SILICONIZING IN THE CONDITIONS OF SELF-SPREADING HIGH TEMPERATURE SYNTHESIS

Для забезпечення необхідних поверхневих властивостей деталей із чавунів та сталей, застосовувалось сіліціювання в умовах саморозповсюдженого високотемпературного синтезу. Як дослідження експерименти проводили на зразках чавунів марки АСЧ-1 (ГОСТ 1585-85), СЧ-20, СЧ-25 (ГОСТ 805-95), ВЧ 45-5, ВЧ 38-17, ВЧ 42-12 (ДСТУ 3925-99) та зразках сталі марки ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ (ГОСТ 801-78). У результаті роботи була досліджена мікроструктура, визначена мікротвердість та товщина поверхневого шару.

**Ключові слова:** саморозповсюджуваний високотемпературний синтез, дифузія, поверхнєве зміцнення, мікроструктура, поверхневий шар, мікротвердість.

*For the cast iron and steel details surface's properties purpose ensuring, the siliconizing in condition of self-spreading high-temperature synthesis was applied. The experiment was conducted with cast irons samples АСЧ-1 (ГОСТ 1585-85), СЧ-20, СЧ-25 (ГОСТ 805-95), ВЧ 45-5, ВЧ 38-17, ВЧ 42-12 (ДСТУ 3925-99) and steel samples ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ (ГОСТ 801-78). As a result the microhardness and surface layer thickness was defined and microstructure was researched.*

**Key words:** self-spreading high temperature synthesis, diffusion, superficial work-hardening, microstructure, superficial layer, microhardness.

---

УДК 669.046.46

Д-р техн. наук Э. И. Цивирко, Д. С. Григорьев  
Национальный технический университет, г. Запорожье

## НЕКОТОРЫЕ ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ СМЕСИ ОКАЛИНЫ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ С ДОБАВКАМИ ШЕЕЛИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

*Предложена схема фазовых и структурных превращений при углеродотермическом восстановлении смеси окалина быстрорежущих сталей с добавками шеелитового концентрата. Целевой продукт металлзации представляет собой карбидизированный интерметаллоид со слабоспеченной структурой.*

**Ключевые слова:** шеелитовый концентрат, окалина, вольфрам, восстановление, гетерогенная система, спекание.

### Введение

Высокие темпы роста специальных сталей могут быть обеспечены лишь при условии одновременного производства соответствующим им легирующих материалов и улучшения их качества, причем для радикального изменения структуры в пользу специальных сталей наращивание объема легирующих материалов должно осуществляться опережающими темпами [1, 2].

Определяющая роль в этом принадлежит стратегии ресурсосбережения, которая предполагает отказ от однократного использования вовлекаемых в оборот ресурсов. В этом направлении приоритет принадлежит одному из материало-энергоёмких производств – металлургии тугоплавких и редких металлов и лигатур на их основе. Практический опыт формирования безотходных технологий свидетельствует о высокой их эффективности [3–7].

Целью настоящей работы была разработка технологических параметров получения нового комплексного легирующего материала на основе техногенных отходов производства быстрорежущих сталей с регулированием содержания редких элементов в пределах

требований производства специальных сталей. Задача данных исследований заключалась в установлении механизма фазовых и структурных превращений при восстановлении смеси окалина быстрорежущих сталей с добавлением шеелитового концентрата для разработки и создания условий, предотвращающих угар легирующих элементов.

### Методика исследований

Для изучения фазовых превращений при восстановлении металлооксидных образцов шихтовых ингредиентов выполнена изотермическая обработка при температурах 1273, 1373 и 1473 К на универсальной термогравиметрической установке проточного типа с усовершенствованной массоизмерительной системой [8]. В экспериментах использованы компоненты шихты фракций –  $0,45 \cdot 10^{-3}$  м.

Фазовый состав исследования образцов проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ1 в изучении кобальтового и медного катода с железным фильтром по описанной методике [9]. Режим сканирования 30 кВ, 10 мА.