

Для изучения процесса формирования дисилицида титана с использованием БТО была проведена электронная Оже-спектроскопия. Результаты исследования показали, что при термообработке происходит перераспределение атомов титана, кремния, кислорода и углерода. Диффузия атомов кислорода и углерода происходит по границам зерен в объеме пленки, что приводит к формированию силицида титана на границе раздела кремний-титан. С увеличением температуры и времени термообработки наблюдается увеличение толщины диффузионно-перемешанной области. После этого происходит преобладающая диффузия кремния, при которой происходит оттеснение кислорода и углерода растущим слоем к поверхности. Это сопровождается уменьшением общего количества углерода и кислорода в структуре за счет испарения. На первом этапе термообработки большая часть титана превращается в различные фазы силицида.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКООГНЕУПОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В КВАРЦЕВЫХ ПЕСКАХ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ

В. А. Соловьева

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Н. Прусенко

*Представлены результаты исследований влияния минералогического состава формовочных кварцевых песков на эксплуатационные свойства литейных стержней. Установлена существенная зависимость прочности, газотворности литейного стержня от процентного содержания балластных легкоплавких примесей в огнеупорном наполнителе.*

**Ключевые слова:** литейные стержни, Nobake процесс, легкоплавкие примеси.

Наибольшее распространение в литейном производстве в качестве огнеупорной основы для формовочных и стержневых смесей получил кварцевый песок. Он не обладает наилучшей твердостью или стойкостью к истиранию, не является и самым химически инертным материалом, но его свойств достаточно для производства отливок [1], с высокими показателями качества.

Высокое содержание в огнеупорном наполнителе массовой доли основного породобразующего имеет очень важное значение. Чем выше массовая доля диоксида кремния в кварцевом песке, тем меньше в нем количество примесей и загрязнений, что, в свою очередь, повышает вероятность получения отливок без наличия дефектов.

Минералогический состав кварцевых песков представлен наряду с кварцем рядом примесных (вредных) минералов, основными из которых являются полевые шпаты (ортоклазы  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ , альбиты  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ , анортиты  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ), слюды (мусковиты  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ , биотиты  $K_2O \cdot 6(Mg,Fe)O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), оксиды и гидраты оксидов железа (гематиты  $Fe_2O_3$ , магнитный железняк  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , ильмениты  $FeO \cdot TiO_2$ ), карбонаты (кальциты, магнезиты, доломиты, сидериты и др.), глинистые минералы (каолиниты, монтмориллониты, гидрослюды).

Данные примеси содержатся в некоторых песках в значительных количествах (до 15 %), что приводит к значительному снижению прочностных характеристик, газопроницаемости литейных стержней и, как следствие, нарушению размерной геометрической точности внутренних поверхностей отливок. Из-за более низкой, чем

у кварца, температуры плавления и взаимодействия с оксидами расплавленного металла эти примеси вызывают образование пригара на отливках [2]. Кроме этого, разлагаясь при значительно более низких температурах, чем температура заливаемого металла, они выделяют углекислый газ, что может привести к образованию газовых раковин.

Наличие загрязнений песков легкоплавкими неорганическими и органическими веществами было определено в исследовании, которое включало изменение массы песка при прокаливании в печи при температуре выше температуры деструкции данных примесей. Согласно ГОСТ 29234.13–91 исследовались навески массой 1 г при выдержке в индукционной-вакуумной печи InduthermVC650V с применением тугоплавкого сердечника в течение 60 минут при температуре 1000 °С. Навеска взвешивалась после полного охлаждения и далее повторно прокаливалась в течение 10 минут. Исследование продолжалось до соблюдения постоянства массы навесок.

Основное количество легкоплавких примесей, которые обычно присутствуют в том или ином количестве на поверхности формовочных песков, разлагается при температурах до 750–950 °С. Для исследования динамики изменений потерь массы песка при прокаливании, по мере повышения температуры прокалки, проводили серию экспериментов для четырех марок песков (1K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>03, 1K<sub>2</sub>O<sub>2</sub>025, 1K<sub>1</sub>O<sub>2</sub>02, 3K<sub>4</sub>O<sub>3</sub>03) в пределах 800–1200 °С. Результаты испытаний приведены на рис. 1.

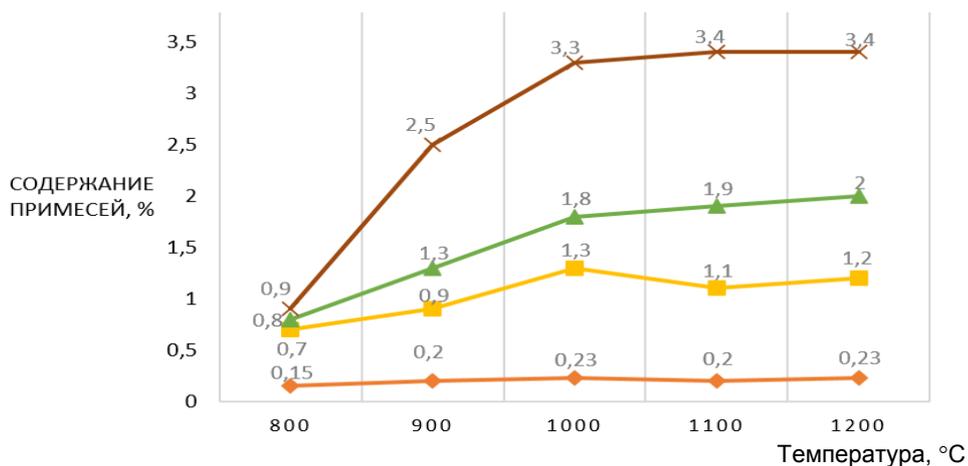


Рис. 1. Наличие загрязнений в исследуемых марках песков:  
 — 1K<sub>1</sub>O<sub>2</sub>02; — 1K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>03; — 1K<sub>3</sub>O<sub>3</sub>025; — 3K<sub>4</sub>O<sub>3</sub>03

Для марок песков 1K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>03, 1K<sub>3</sub>O<sub>3</sub>025, 1K<sub>1</sub>O<sub>2</sub>02 отмечен слабый рост потерь массы песка при прокаливании с увеличением температуры, в том числе в рамках, обычно задаваемых при проведении исследования температурах (1000 °С). Наличие примесей в песке на уровне 2–3 % вполне приемлемо при заливке цветных сплавов и чугуна. Для сталей желательно поддерживать не более 2 %, во избежание науглероживания поверхностного слоя отливок.

Для песка марки 1K<sub>3</sub>O<sub>3</sub>025 было зарегистрировано увеличение содержания примесей, нестабильных при температурах от 1100 до 1200 °С. Для других песков в этом интервале температур прироста потери массы песка при прокаливании не было обнаружено. Песок марки 3K<sub>4</sub>O<sub>3</sub>03 имеет повышенное содержание примесей, которое составляет более 3 %, что предположительно окажет негативное влияние на прочностные и газопроводящие свойства литейного стержня.

Оценку влияния содержания легкоплавких примесей и глины в зерновой основе песка на эксплуатационные характеристики литейных стержней производили для типовой рецептуры смеси по «Nobake» процессу, содержащей 100 % кварцевого песка, 1,2 % связующего вещества и 0,8 % отвердителя. Для каждой исследуемой марки огнеупорного наполнителя было изготовлено три образца из исходного и три образца из дополнительно очищенного песка. Формовочный песок очищали прокаливанием и отмучиванием по стандартной методике. Результаты исследования представлены в таблице (время отверждения 24 часа).

**Влияние наличия примесей на эксплуатационные характеристики литейных стержней, изготовленных по технологии Nobake**

Марка песка	Исследуемый показатель	Образцы с использованием исходного огнеупорного наполнителя				Образцы с использованием предварительно очищенного огнеупорного наполнителя			
		1	2	3	Среднее	1	2	3	Среднее
1K <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 03	Прочность, Н/см <sup>2</sup>	422	435	427	428	518	523	520	520,3
	Газопроницаемость, ед.	255	253	255	254,3	256	255	257	256
	Газотворность, см <sup>3</sup> /г	9	8	8	8,3	8	8	8	8
1K <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 025	Прочность, Н/см <sup>2</sup>	452	450	455	452,3	540	535	537	537,3
	Газопроницаемость, ед.	254	255	257	255,3	255	255	257	255,7
	Газотворность, см <sup>3</sup> /г	8	8	9	8,3	8	8	8	8
1K <sub>1</sub> O <sub>2</sub> 02	Прочность, Н/см <sup>2</sup>	483	490	488	487	579	584	590	584,3
	Газопроницаемость, ед.	247	245	248	246,7	248	247	247	247,3
	Газотворность, см <sup>3</sup> /г	9	9	8	8,6	8	8	9	8,3
3K <sub>4</sub> O <sub>3</sub> 03	Прочность, Н/см <sup>2</sup>	363	360	358	360,3	472	472	470	471,3
	Газопроницаемость, ед.	236	236	240	237,3	238	237	240	238,3
	Газотворность, см <sup>3</sup> /г	12	11	12	11,6	10	9	10	9,6

В результате проведенного исследования видно, что наибольшие показатели прочности на разрыв отмечены у песков 1K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>03, 1K<sub>2</sub>O<sub>2</sub>025, 1K<sub>1</sub>O<sub>2</sub>02. В случае применения исходного песка марки 3K<sub>4</sub>O<sub>3</sub>03 в составе стержневой смеси средний показатель прочности составил 360,3 Н/см<sup>2</sup>, а после прокалывания и отмучивания наполнителя данный показатель увеличился до 471,3Н/см<sup>2</sup>, что составляет 30 % от исходного значения. Следует отметить, что данная марка песка имеет наибольшее содержание глинистой составляющей и наличие примесей в исследуемой группе.

Установлено, что уменьшение количества примесей способствует снижению газотворности стержней из ХТС, выполненных с использованием всех исследуемых марок песков. Использование очищенного от легкоплавких соединений песка позволило снизить газовыделения при термической деструкции примесей на 4–18 %, в зависимости от степени загрязненности.

Значение газопроницаемости при очистке огнеупорного наполнителя увеличилось незначительно, что говорит о том, что в данных песках низкая доля пылевидных фракций низкоогнеупорных примесей (водные алюмосиликаты железа и магния), а основная часть адгезированна преимущественно на поверхности зерен.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что практически все входящие в состав стержневых песков минералы (кроме кварца) ухудшают их качество как наполнителей формовочных и стержневых смесей, поэтому для изготовления стержней необходимо использовать кварцевые пески с минимальным содержанием примесей.

#### Литература

1. Жуковский, С. С. Прочность литейной формы / С. С. Жуковский. – М. : Машиностроение, 1989 – 288 с.
2. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства. В 2 ч. Ч. 2. Технология изготовления отливок в разовых формах / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, Н. В. Андрианов. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2011. – 406 с. : ил. – (Высш. образование).

## RECOGNITION AND ANALYSIS OF MICROSTRUCTURE PARAMETERS OF POROUS ANODIC FILMS USING IMAGEJ

Marwan F. S. H. AL-Kamali

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

O. A. Kovaleva, N. V. Lushpa, I. A. Vrublevsky

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk*

*The most important parameters that characterize the microstructure of the films and determine the possibility of their use as porous templates are the pore diameter, porosity, and ordering of the porous structure. Therefore, to increase the efficiency of the use of porous anodic alumina films, it is important to investigate the effect of the formation modes on the microstructure. The aim of this work was to choose and optimize a model for processing experimental data obtained by scanning electron microscopy in the ImageJ to determine the parameters of the microstructure of porous films. The work shows the result of SEM image analysis and obtains plots of pore diameter distribution by size and determines the diameter of the main pores.*

**Keywords:** porous film, anodic alumina, pore diameter, SEM images, ImageJ, Gaussian fitting.

Electrochemical oxidation of aluminum in acid electrolytes is a relatively simple and efficient way to obtain oxide structures with the possibility of controlling the porous structure. In this case an anodic oxide film with a regular porous structure is formed, the pore channels of which are oriented perpendicular to the plane of the aluminum substrate. In the process of anodic oxidation such parameters as pore diameter, pore spacing, barrier layer thickness and thickness of the obtained porous film can be varied by changing the anodization modes.

The most important parameters that characterize the microstructure of the films and determine the possibility of their use as porous templates are the pore diameter, porosity, and ordering of the porous structure. The above parameters largely influence the degree of filling of porous templates when depositing metal nanoparticles in them to obtain composite films with different properties.

Therefore, to increase the efficiency of porous anodic alumina films, it is important to study the effect of the formation modes on the microstructure of the films. As a rule, the structure of anodic films is considered taking into account the generally accepted ideal model, where its morphology is an array of hexagonal ordered cells. Numerous studies have shown that the distance between pore centers is proportional to the anodization voltage. The coefficient that relates the distance between pore centers and anodization voltage varies in the range of 2.4 to 2.6 nm/V, depending on the selected anodizing electrolyte [1, 2].

In practice, to determine the distance between the pore centers, scanning electron microscopy (SEM) data are used, which, after processing microphotographs, allow to obtain