

4. Выявлены оптимальные режимы микродугового оксидирования (электрическое напряжение – 200-250 В и длительность нанесения – 5-10 мин), позволяющие формировать CaP покрытия с оптимальными физико-механическими характеристиками: толщиной 40-70 мкм, шероховатостью по  $Ra$  2,5-4,5 мкм, модулем упругости 50-70 ГПа и твердостью 4-7 ГПа.

#### **Список литературы:**

1. Long M., Rack H.J. Titanium alloys in total joint replacement – a materials science perspective // *Biomaterials*. – 1998. – №19. – P. 1621–1639.
2. Васин С.Л., Немец Е.А. и др. Биосовместимость / под ред. И. В. Севастьянова. М.: Тровант, 1999. – С. 368.
3. Забелин С.Ф., Дорожков А.А. и др. Анализ нанокристаллизации и формирования нанофазных систем в поверхностном слое металлов и сплавов // *Технология машиностроения*. – 2010. – №11. – С. 312–314.
4. Y. Qiang, S. Jian, X. Hui, G. Wen-yuan. Influence of Nb and Mo contents on phase stability and elastic property of  $\beta$ -type Ti-X alloys // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2007. – V. 17. – № 6. – P. 1417–1421.
5. Усеинов С.С., Соловьев В.В., Гоголинский К.В., Усеинов А.С., Львова Н.А. Измерение механических свойств материалов с нанометровым пространственным разрешением // *Наноиндустрия*. – 2010. – №2. – С.30–35.
6. Легостаева Е.В., Шаркеев Ю.П. Гнеденков С.В., Комарова Е.Г., Егоркин В.С., Синябрюхов С.Л., Лямина Г.В., Хлусов И.А. Микродуговые кальцийфосфатные покрытия на поверхности наноструктурированного титана: морфология, физико-механические и электрохимические свойства // *Материаловедение*. – 2013. – №4. – С.48–56.

### **НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОПОРОШКИ В КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПИГМЕНТОВ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ КРАСОК**

*Хабас Т.А., д.т.н., профессор,  
Пустовалов А., м.н.с.,  
Черепанова А.И., студент гр. 4Г12,  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина,30,  
тел.(3822)-606-333  
E-mail: ai\_cherepanova@mail.ru*

Перспективность использования высокодисперсных металлов в качестве сырьевого материала для производства керамики отражена в отдельных работах [1, 2], в то время как исследований о применении нанометаллических порошков, полученных методом электрического взрыва проводников, в качестве керамических пигментов практически не проводилось. Это связано с тем, что, несмотря на многолетний опыт их получения, свойства данных материалов, а также

возможности их применения не изучены до конца. В данной работе рассмотрены свойства металлических нанопорошков в аспекте взаимодействия их с силикатными стеклообразными материалами, сделан сравнительный анализ полученных образцов после обжига в вакуумной и воздушной среде.

При изучении электронных микроснимков нанопорошков никеля при увеличении в 200-300 раз, можно увидеть агломераты разной формы и разного размера. При большем увеличении (до 5500 раз), различается хлопьевидное состояние частиц, стремление образовывать крупные агломераты. При увеличении до 25000 установлено, что размеры отдельных частиц менее 100 нм.

Используя энергодисперсионный анализ растрового электронного микроскопа JEOLJSM-7500FA для расчета массового соотношения элементов в данном порошке, установлен состав нанопорошка никеля: 85,26 % Ni 14,74% Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Рентгенофазовый анализ также показал существование чистого никеля и трехвалентного оксида Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Агломераты в порошке *нихрома* больше по величине, чем у порошков никеля. Средний размер агломератов составляет 300-450 нм. Данные агломераты имеют круглую форму. РФА NiCr показал наличие только чистого порошка Cr, без оксидов, а также Ni и Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. ZAF Method Standardless Quantitative Analysis установил массовое соотношение по элементам: O – 10,57%, Cr – 20,38 % , Ni – 69, 06 %.

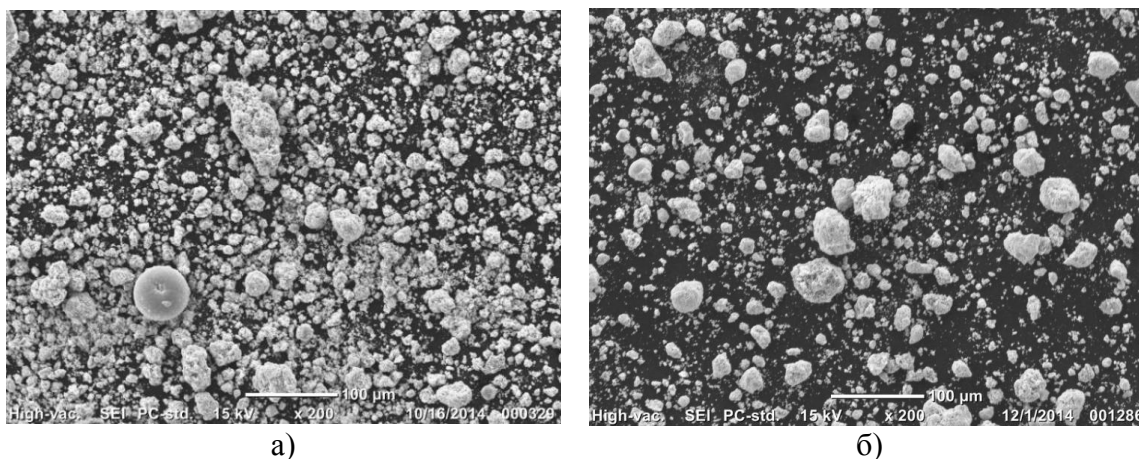





Рис. 1. СЭМ-фотографии при увеличении в 200 раз а) никеля б) нихрома

При изучении взаимодействия с силикатным расплавом нанопорошки металлов смешивали с фриттой в соотношении 5: 95, формовали прессованием в виде таблеток и обжигали в печи на воздухе до 940 °С. Скорость обжига составляет 135 °С/ч, выдержка при конечной температуре – 2 мин. Обжиг в вакууме происходил со скоростью 60 °С/мин до 920 °С с выдержкой в течение 2 ми. В процессе термической обработки образцы оплавливались.

Данные образцы в зависимости от вида обжига имели различную окраску: таблетки, обожженные на воздухе, имели более светлую и ровную окраску – песочного и болотного цвета; цвета, полученные вакуумным обжигом, имели серые оттенки, а также замечены черные точечные включения. Тем самым можно сделать выводы, что данной температуры (920 °С) обжига в вакуумной среде способствует сохранению части порошка в металлическом виде, тем самым создавая необычные оттенки окраски.

Таблица 1. Результаты обжига образцов в вакууме и воздушной среде.

Шифр и условия обжига	Компонентный состав шихты	Цветовая характеристика	Тем-ра обжига, °С	$\lambda$ , нм	Образец окрашенной поверхности
С16, вакуум	NiCr 5% + бессвинц. фритта	Серо-зеленая RGB 30.8-43.3-25.9	920	551	
Н9, вакуум	Ni 5% + бессвинц. фритта	Светло-зеленая с белыми и темными вкраплениями RGB 31.9-38.2-29.9	920	561	
НВ9, воздух	Ni 5% + бессвинц. фритта	Желто-коричневая RGB-44,7-39,5-15,8	940	586	
СВ16, воздух	NiCr 5% + бессвинц. фритта	Серо-коричневая с болотными пятнами RGB-44,4-43,8-11,8	940	580	

**Список литературы:**

1. F. Henry, J. Bouillard, P. Marchal, A. Vignes, O. Dufaud, L. Perrin. Exploring a new method to study the agglomeration of powders // Application to nanopowders Powder Technology. – 2013. – V. 250. P. 13–20.
2. Хабас Т.А. Нанопорошки металлов в технологии керамики: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 230 с.