

увеличение кажущейся плотности в ходе интенсивно протекающего процесса спекания, который практически завершается к температуре 1100 °С.

Таким образом, эта температура и была принята конечной температурой обжига, выдержка изделий при ней составляла 1 ч. Основными кристаллическими фазами в синтезированном материале являются следующие: анортит, диопсид, авгит и гематит. Основные свойства петроситалов, полученные по термопластической технологии в соответствии с разработанным режимом термообработки следующие: кислотостойкость в 1н HCl – 98%, водопоглощение – 0,12%, потери при истирании – 0,03г/см<sup>2</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Павлушкин, Н.М. Основы технологии ситаллов / Н.М. Павлушкин. - М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.

2. Саркисов, П.Д. Последние достижения в области стеклокристаллических материалов/ П.Д. Саркисов // Наука и технология силикатных материалов настоящее и будущее: материалы Межд. научн-техн. конф. – М., 2003. – Т.1. – С. 54–71.

3. Ходаковская, Р. Состояние и перспективы развития работ в области ситаллов / Р. Ходаковская // Катализируемая кристаллизация стекла: ГИС. – М., 1986. – С. 2-15.

4. Вольдан, Я. Исследование процесса плавления и кристаллизации горных пород типа базальта / Я. Вольдан // Сб. Проблемы каменного литья. – Киев: АН Украины, 1963. – Вып.1. – С. 65.

УДК 539.3

Кравчук А.С., Жук А.В.

## ОБОБЩЕНИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ ВИНКЛЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь.*

*Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, доц. Кравчук А.С.*

*В статье выполнено методическое обобщение модели деформируемого основания Винклера на случай композиционного, нелинейно-деформируемого и других моделей основания, моделирующих сложное механическое поведение покрытий при решении плоских контактных задач.*

**Введение.** Трудности определения контактных напряжений в рамках механики деформируемого твердого тела обусловлены тем, что перемещения в определенной точке поверхности зависят от распределения давлений по

всей области контакта. Следовательно, определение аналитической зависимости для контактных давлений в какой-либо точке области контакта твердых тел требует решения интегрального уравнения. Эти трудности устраняются, если упругое тело моделируется простейшим упругим основанием, состоящим из стержневых элементов способных деформироваться только в одном направлении без взаимодействия между собой (без сдвига и трения). При этом поперечное сечение элементов считается малым по сравнению с областью контакта. В случае линейной связи напряжений и деформаций стержня – это основание Винклера.

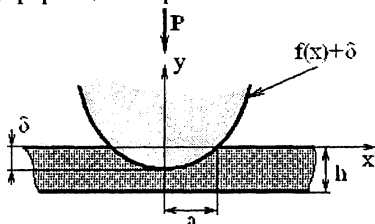


Рисунок 1 – Схема взаимодействия штампа и покрытия

**Перемещения в области контакта.** Рассмотрим решение контактной задачи внедрения жестких симметричных штампов в простейшее основание глубиной  $h$ , лежащее на жесткой подстилающей поверхности (Рисунок 1).

В упругое основание вдавливается жесткий штамп. Профиль индентора имеет уравнение  $f(x)$ . Внедрение (осадку) обозначим через  $\delta$ . Предположим, что область контакта это отрезок  $[-a, a]$  (Рисунок 1). Очевидно из геометрических соображений что  $\delta = -f(a)$ . Нормальное упругое внедрение индентора будет иметь вид:

$$u_y(x) = \begin{cases} \delta + f(x), & x \in [-a, a] \\ 0, & x \notin [-a, a] \end{cases} \quad (1)$$

Относительное изменение длины элемента  $\varepsilon_y(x)$  каждого деформируемого элемента определяется соотношением:

$$\varepsilon_y(x) = \frac{u_y(x)}{h} \quad (2)$$

Кроме того, интегральная нагрузка, вызывающая погружение индентора, определяется уравнением:

$$P = -2 \int_0^a \sigma_y(x) dx. \quad (3)$$

**Решение контактной задачи для модели упругого основания Винклера.** Напряжения  $\sigma_y(x)$ , действующие в области контакта, пропорциональны деформациям  $\varepsilon_y(x)$  с модулем упругости  $E$ :

$$\sigma_y(x) = E \cdot \varepsilon_y(x) = \frac{E}{h} (f(x) - f(a)), x \in [-a, a]. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3) и вычисляя значение интегральной нагрузки необходимой для достижения полосы контакта заданной шириной  $2 \cdot a$ .

**Обобщение контактной задачи на случай неодинаковой жесткости стержней.** Для решения данной задачи необходимо использовать усредненное контактное напряжение:

$$\langle \sigma_{y,i} \rangle = \langle E_i \rangle \cdot \varepsilon_y(x), x \in [-a, a],$$

где  $\langle E_i \rangle$  – средний модуль упругости основания определяемый с использованием концентраций  $\gamma_i$ :

$$\langle E_i \rangle = \sum_{i=1}^k \gamma_i \cdot E_i.$$

Область контакта  $a$  по заданному усредненному давлению определяется исходя из уравнения (3).

**Простейшая модель нелинейно деформируемого основания.** Нелинейно-деформируемое простейшее основание глубиной  $h$  лежит на жесткой подстилающей поверхности,  $\sigma_{ЭТ}$  – некоторая эталонная константа определяющая эталонное напряжение (например, напряжение текучести),  $\varepsilon_{ЭТ}$  – некоторая эталонная деформация соответствующая эталонному напряжению  $\sigma_{ЭТ}$ .

Тогда контактные напряжения  $\sigma_y(x)$  связаны нелинейной зависимостью с относительным изменением длины элементов основания  $\varepsilon_y(x)$  (2), т.е.

$$\sigma_y(x) = \sigma_y \cdot \aleph(\varepsilon_y(x)), x \in [-a, a],$$

где  $\aleph()$  – некоторая нелинейная функция определяющая связь напряжений и деформаций. Интегральная нагрузка, вызывающая погружение штампа в нелинейно деформируемое основание определяется соотношением (3).

**Простейшее композиционное нелинейно деформируемое основание.** Для решения данной задачи необходимо использовать усредненное давление:

$$\langle \sigma_i(x) \rangle = \sum_{i=1}^k \gamma_i \cdot \sigma_{ЭТ,i} \cdot \aleph(\Delta_i(x)) = \sum_{i=1}^k \gamma_i \cdot \sigma_{ЭТ,i} \cdot \aleph_i \left( \frac{\delta + f(x)}{\varepsilon_{ЭТ,i} \cdot h} \right),$$

где  $\gamma_i$  – концентрация элементов с номером  $i$ ;  $\sigma_{ЭТ,i}$ ,  $\varepsilon_{ЭТ,i}$  – эталонные константы  $i$ -ого стержня. При этом  $\aleph_i(0)$  – функция определяющая связь напряжений и деформаций  $i$ -го стержня.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
2. Солдатенков, И.А. Нелинейная износоконтактная задача для основания Винклера (постоянная область контакта) / И.А. Солдатенков // Трение и износ. – 2006. – Т. 27. – № 3. – С. 245–256.

УДК 549.5+621.78.11+537.31/2

Красуцкая Н.С., Сазанович Н.В.

### **СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ $\text{LaBaCo}(\text{Cu,Fe})\text{O}_{5+\delta}$**

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: канд. хим. наук, доц. Клындюк А.И.*

*Керамическим методом синтезированы перовскитные оксиды  $\text{LaBaCoMeO}_{5+\delta}$  ( $\text{Me} = \text{Fe}, \text{Cu}$ ), имеющие кубическую структуру и являющиеся полупроводниками  $p$  – типа ( $\text{Me} = \text{Fe}$ ) и  $n$  – типа ( $\text{Me} = \text{Cu}$ ) (при комнатной температуре). Определены величины коэффициентов линейного термического расширения этих фаз и значения энергий активации и переноса иона в этих сложных оксидах.*

В настоящее время активно исследуются слоистые перовскитные оксиды, представителями которых являются сверхпроводящие купраты  $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , магнеторезистивные манганиты  $\text{RBa}_2\text{Mn}_2\text{O}_{6-\delta}$  и кобальтиты  $\text{RBaCoO}_{5+\delta}$ , а также соединения типа  $\text{RBaMe}'\text{Me}''\text{O}_{5+\delta}$  ( $\text{Me}', \text{Me}'' = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Cu}$ ) ( $\text{R} = \text{Y}, \text{PЗЭ}$ ).

Изучение структуры и свойств соединений данного структурного типа представляет значительный интерес как с научной (установление взаимосвязи «состав – структура – свойство»), так и практической точки зрения (разработка и получение функциональных материалов различного назначения: высокотемпературные сверхпроводники, термоэлектрики, магнеторезистивные материалы и т.д.).

В настоящей работе получены и охарактеризованы новые перовскитные оксиды состава  $\text{LaBaCo}(\text{Cu,Fe})\text{O}_{5+\delta}$ . Соединения получали керамическим методом из  $\text{BaCO}_3$  и оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на воздухе в интервале температур 1173 – 1473 К [1].

Образцы были охарактеризованы при помощи РФА (рентгеновский дифрактометр Bruker D8 (излучение  $\text{Cu-K}\alpha$ ,  $\text{Ni}$ -фильтр)) и ИК-спектроскопии