

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СПЕКАНИЯ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

А.О. ТОВПИНЕЦ, В.Н. ЛЕЙЦИН, М.А. ДМИТРИЕВА

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

E-mail: tovpinets_a@mail.ru

Для решения задач исследования технологических режимов спекания низкотемпературной керамики требуется развитие подходов компьютерного моделирования материалов с учетом иерархии реологических процессов в порошковых телах и модификации иерархически организованных структур. Локальные характеристики процессов и материалов моделируются на основе классических результатов. Использован подход физической мезомеханики, объединяющий идеологию и инструменты физики твердого тела и микромеханики сред со структурой [1].

В представленной работе исследуются режимы подготовки исходного компакта и спекания низкотемпературной керамики, влияние структурно-механических характеристик исходных компонент на структурно-фазовый состав спекаемого материала. Такая керамика является одним из перспективных классов композиционных материалов, получаемых аддитивными технологиями.

Исходный компакт низкотемпературной керамики формируется послойно из смеси компонентов с заданной пористостью. В процессе спекания композита образуется матрица материала, формируемая легкоплавкими компонентами исходной смеси при температуре, меньшей их температуры плавления.

Эффективные характеристики спеченной керамики определяются макроскопической структурой исходного компакта, распределением в нем твердоплавких, легкоплавких компонентов и пор, неоднородностью концентраций, фазового и фракционного состава исходных компонентов.

Фракционный состав полидисперсной смеси тугоплавких компонентов исходного компакта представлен набором значений размеров частиц и объемными долями каждого такого набора в смеси тугоплавких компонентов. Крупнодисперсные и микрогетерогенные фракции исходных порошковых тугоплавких компонентов различаются размерами и отнесены к «крупным» частицам по способности формировать силовой каркас взаимодействующих частиц. Ультрамикрогетерогенные тугоплавкие фракции присоединяются к дисперсионной среде, формируя и модифицируя её характеристики. В зависимости от характера дискретного модельного распределения прогноз возможности формирования каркаса тугоплавких частиц на макро-, мезо- или миниуровнях определяет прогноз минимальной пористости спеченного тела в соответствии с условиями достижения механического контакта частиц рассматриваемой фракции. Возможность формирования каркасов тугоплавких частиц смеси на любом структурном уровне уменьшается с уменьшением локальной доли тугоплавких компонентов смеси рассматриваемой фракции (с увеличением доли легкоплавкого компонента). Возможность формирования каркаса тугоплавких компонентов на различных иерархически расположенных уровнях структуры вносит решающий вклад в формирование поровой структуры спекаемого образца [2].

Исходный компакт формируется шликерным литьем с последующей просушкой и термодеструкцией связующего. Термодеструкция связующего проходит с образованием газофазных продуктов распада и кристаллического остатка. Фильтрация газовой фазы продуктов термодеструкции связующего приводит увеличению начальной пористости исходного компакта.

Кристаллический остаток термодеструкции является дополнительной тугоплавкой фазой в матрице спекаемых образцов. Это может привести к появлению термических остаточных напряжений, вызванных разностью коэффициентов термического расширения дисперсных компонентов и матрицы.

На рисунке 1 представлены результаты исследований учета образования кристаллического SiO₂ при оценке остаточных термических напряжений в матрице спеченной керамики наряду с дисперсным тугоплавким компонентом α -Al₂O₃. Численные оценки производились с использованием характеристик материала компонентов [3]. Рассмотрены 3 модельных состава с различными массовыми содержаниями компонентов исходного компакта: а) α -Al₂O₃ – 40масс.%, боросиликатное стекло – 40 масс.%, полиорганосилоксан (связующее) – 20 масс.%; б) α -Al₂O₃ – 40 масс.%, боросиликатное стекло – 45 масс.%, полиорганосилоксан (связующее) – 15 масс.%; в) α -Al₂O₃ – 30 масс.%, боросиликатное стекло – 50 масс.%, полиорганосилоксан (связующее) – 20 масс.%

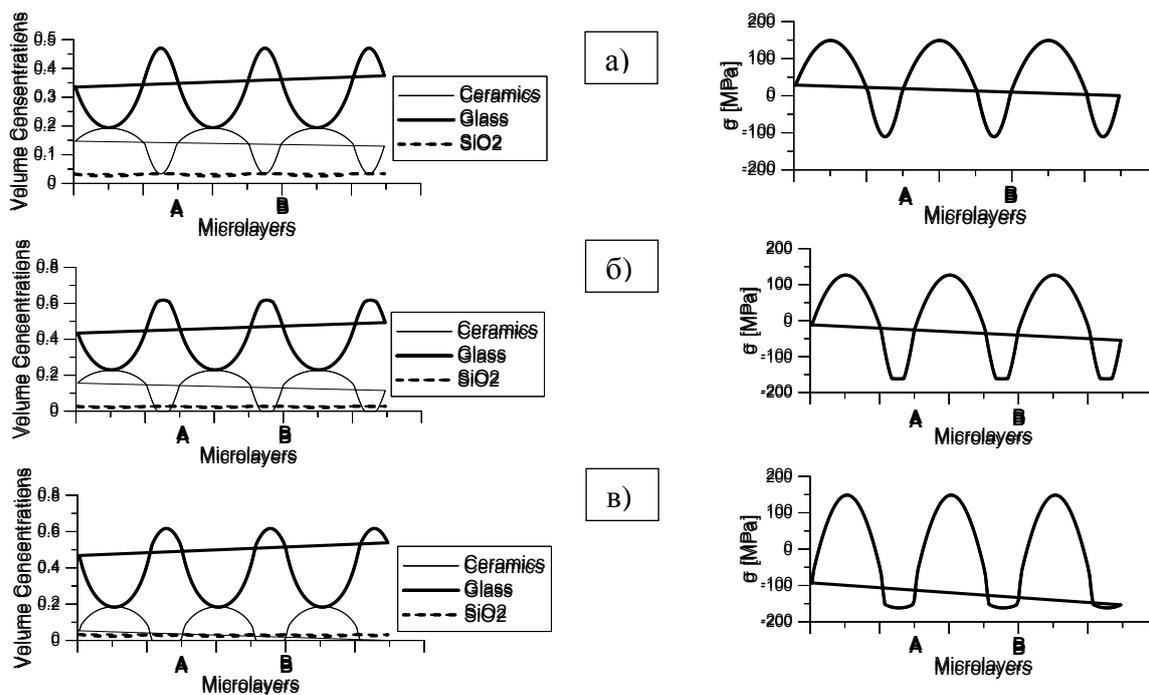


Рисунок 1 – Распределение объемных концентраций компонентов спеченной керамики (слева) и остаточных термических напряжений (справа) по толщине моделируемого слоя при различных массовых составах компонентов смеси в исходном компакте.

Анализ результатов показывает возможное появление как растягивающих, так и сжимающих значений остаточных напряжений в матрице спеченной керамики. Изменение значений и знака остаточных напряжений в спеченном материале возможно оптимизацией концентрационного состава исходного компакта компонентов и изменением коэффициента термического расширения легкоплавкого компонента (боросиликатного стекла) за счет варьирования химического состава стекла.

Список литературы

1. Vladimir N. Leitsin, Maria A. Dmitrieva, Tatiana V. Kolmakova Governing Factors of Physical and Chemical Behavior of Reactive Powder Materials // Powder Metallurgy Research Trends / Editors Lotte J. Smit and Julia H. Van Dijk. Nova Science Publishers, Inc. NY, 2008
2. Vladimir N. Leytsin, Mariya A. Dmitrieva, Alexandr O. Tovpinets, Ivan V. Ivonin, and Sergey V. Ponomarev. // AIP Conference Proceedings 1783, 020132 (2016).
3. Imanaka Y. Multilayered low temperature cofired ceramics (LTCC) technology, Springer science business media, Inc. (2005). 205 p.