

водорастворимых токсичных веществ и компонентов. Использование полимерных мембран для закрытия раневых дефектов ускоряет процесс регенерации и снижает выраженность воспалительной реакции по сравнению с методикой лечения, когда раневой дефект остается открытым. Особенно это было выражено в группе, где использовалась мембрана с пьезоэлектрическими свойствами, изготовленная из ВДФ-ТеФЭ. В этой группе происходила более быстрая смена клеток воспалительной инфильтрации на клетки регенерации, а также в меньшей степени была выражена рубцовая деформация новообразованных тканей.

Таким образом, использование фторсодержащих полимерных мембран для закрытия раневых дефектов слизистой оболочки полости рта ускоряет процесс регенерации и снижает выраженность воспалительной реакции по сравнению с лечением, когда раневой дефект остается открытым. Мембрана, проявляющая пьезоэлектрические свойства, более эффективна.

Список литературы

1. Chemical Regeneration of Wound Defects: Relevance to the Canine Palatal Mucosa and Cell Cycle Up-Regulation in Human Gingival Fibroblasts / K. Lee [et al.] // *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. – 2019. – № 16. – P. 675–684.
2. Sculean A., Gruber R., Bosshardt D.D. // *Journal of Clinical Periodontology*. – 2014. – № 41. – P. 6–22.
3. Collagen membrane: A new concept in surgical management for mucosal defect in oral sub mucous fibrosis / S. Kumar [et al.] // *Asian Journal of Medical Sciences*. – 2021. – № 12. – P. 71–75.
4. Singer A. J. Healing Mechanisms in Cutaneous Wounds: Tipping the Balance / A.J. Singer // *Tissue Engineering Part B: Reviews*. – 2022.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ КЕРАМИКИ (Zr,Hf,Nb,Ti)C

ВАН Д.¹, ШЭНЬ Ю.¹, Е.С.ДЕДОВА^{1,2}, С.П.БУЯКОВА^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: SN2406@bk.ru

Многокомпонентная керамика, стабилизированная энтропией, является перспективным классом развивающихся материалов со свойствами, превосходящими обычную керамику. Особенно привлекает внимание многокомпонентная керамика на основе карбидов. Композиты обладают превосходными механическими, окислительными, коррозионными и износостойкими свойствами. Однако основными недостатками многокомпонентной керамики на основе тугоплавких карбидов и боридов является сложность спекаемости и низкая вязкость разрушения. Одним из подходов, позволяющих решить выделенные проблемы, может стать применение механической активации поверхности порошковых систем для улучшения процесса спекания и введение второй фазы с более высоким/более низким модулем упругости для повышения вязкости разрушения.

Целью данной работы является исследование влияния вторичной фазы (МУНТ и *h*-BN) на структурно-фазовое состояние и механические свойства многокомпонентных керамических твердых растворов (Zr,Hf,Nb,Ti)C.

Материалами для исследований служила керамика (Zr,Hf,Nb,Ti)C с 5 мас.% МУНТ и различным содержанием *h*-BN 0,5, 1, 3 и 5 мас.%. Керамические материалы были получены

горячим прессованием порошковых смесей при температуре 1900 °С давлением 50 МПа в течение 20 минут в атмосфере аргона. Рентгенофазовые исследования проводились на дифрактометре с $\text{CuK}\alpha$ излучением. Микроструктура керамических образцов исследовалась на растровом электронном микроскопе Vega Tescan. Твёрдость композитов определялась на полированной поверхности наноиндентированием пирамиды Берковича с нагрузкой 50 г в течение 10 секунд на приборе NanoIndenter G 200 (H_{IT}). Модуль Юнга (E_{IT}) определялся по диаграмме внедрения пирамиды Берковича на поверхность материалов в соответствии со стандартом ISO 14577. Вязкость разрушения керамических материалов осуществлялась по методу SEVNB (Singleedge V-notch beam).

Рентгеновский анализ показал, что полученная многокомпонентная керамика имела ГЦК структуру по типу каменной соли NaCl. Введение МУНТ и h-BN в керамическую матрицу не оказало влияние на формирование твердых растворов. При добавлении МУНТ средний размер зерен многокомпонентной керамики (Hf,Zr,Ti,Nb)C остаётся постоянным в пределах ошибки и составляет ~ 2 мкм. Повышение массового содержания h-BN в керамике (Hf,Zr,Ti,Nb)C привело к монотонному уменьшению размера зерен.

В случае с керамическими материалами (Hf,Zr,Ti,Nb)C при введении МУНТ увеличение вязкости не замечено, что может быть связано с неравномерным распределением углеродных нанотрубок в керамической матрице. Добавление гексагонального нитрида бора до 5 мас.% в керамику (Hf,Zr,Ti,Nb)C способствует увеличению вязкости разрушения. Наибольшее значение коэффициента трещиностойкости $K_{\text{Ic}} = 3,93 \pm 0,1$ МПа $\cdot\text{м}^{1/2}$ наблюдается у керамики с содержанием до 1 мас.% h-BN. Таким образом, повышение трещиностойкости керамики (Hf,Zr,Ti,Nb)C при введении до 1 мас.% h-BN составило более 20%.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер проекта FWRW-2021-0009

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОПОРОШКОВ ПОЛИКАПРОЛАКТОН/ГИДРОКСИАПТИТ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ ОСТЕОИМПЛАНТАТОВ

В.А. ЮРМАНОВ, Г.Е. ДУБИНЕНКО, С.И. ТВЕРДОХЛЕБОВ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Лаборатория плазменных гибридных систем

E-mail: yay11@tpu.ru

Функциональные биорезорбируемые полимерные частицы, наполненные биоактивными органическими и неорганическими наполнителями, являются объектом большого интереса для применения в медицине [1]. Нано- и микроразмерные полимерные частицы рассматриваются как носители для адресной доставки лекарств, филлеры для заполнения тканевых дефектов, порошки для лазерно-лучевой и электронно-лучевой 3D печати объемных тканеинженерных скаффолдов сложной формы [2–4]. Существующие методы микроинкапсулирования в эмульсиях типа W/O, O/W, W/O/W, O/W/O и др. позволяют получать наполненные полимерные частицы размерностью до десятков нанометров [5,6]. Однако, такие методы, как правило, реализуются с использованием растворов полимеров низких концентраций до 1-10 г/л в качестве масляной фазы, что в значительной мере ограничивает объем получаемых частиц. В представленной работе предложен метод инкапсулирования гидроксиапатита (ГАП) в биорезорбируемый полимер поликапролактон (ПКЛ) путем переосаждения частиц из раствора в ацетоне. Предложенный метод, основанный на плохой растворимости поликапролактона в ацетоне при низких температурах, позволил получить композиционные порошки наполненного