

**Таблица 1.** Состав образцов МКА 91 после кальцинации

Соединения	МКА 91	Минерализатор				
		AlF <sub>3</sub> [1]	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AlF <sub>3</sub> /B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	AlF <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> Cl
		3 %	2 %	3 %/2 %	5 %	3 %/5 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	97,9	98,18	98,09	98,40	98,42	98,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	0,71	0,70	0,68	0,21	0,35
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	<b>1,3</b>	<b>1,01</b>	<b>1,14</b>	<b>0,87</b>	<b>1,26</b>	<b>1,00</b>
SiO <sub>2</sub>	0,1	0,10	0,07	0,05	0,11	0,10

Применение 5 % хлорида аммония в качестве минерализатора позволяет снизить содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 0,21 %, который в МКА 91 преимущественно представлен в виде индивидуальных частиц немагнитной окалины и/или физически связанных с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> частиц. Удаление примеси Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> происходит по механизму образования хлораммонийных комплексов с последующей возгонкой при нагревании [2]. Существенного воздействия хлорида аммония на щелочность не установлено. При использовании смеси минерализаторов AlF<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl (3 %/5 %)

содержание примеси Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в обработанном материале снижается до 0,35 %, уменьшения степени удаления примеси предположительно связано с преобладанием исследуемой системе процесса образования стойких к воздействию Cl-иона фторсодержащих соединений железа.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию процесса обесщелачивания в выбранных системах минерализации и определения технико-эксплуатационных свойств обработанных материалов.

### Список литературы

1. Киселёв А. Д., Малютин Л. Н. // *Химия и химическая технология в XXI веке*, 2021. – Т. 1. – С. 70–71.
2. Борисов В. А., Крайденко Р. И. // *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства*, 2020. – С. 37.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПОСТОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСЛОЙНЫМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ПЛАВЛЕНИЕМ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

М. П. Козадаева, А. А. Павельева, Д. А. Храпов  
 Научный руководитель – к.ф.-м.н., в.н.с. М. А. Сурменова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050, mariakoz71@gmail.com

**Введение.** Аддитивные технологии являются перспективным методом для производства костных имплантатов. При аддитивном производстве частицы порошка, которые не были полностью расплавлены, остаются на поверхности и в порах изделий [1]. Наличие таких частиц недопустимо для использования в медицине. Сложность удаления порошка с внутренних поверхностей возрастает с увеличением плотности структурной сетки.

Химическое травление является наиболее перспективным методом в технологии костных

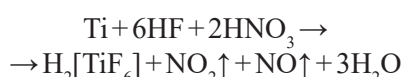
имплантатов, так как жидкость имеет способность проникать во внутренние поры, удалять порошок, а также улучшать свойства поверхности, например, ее шероховатость.

**Теоретическая часть.** Наиболее агрессивным реагентом по отношению к титану и его сплавам является плавиковая кислота. Для предотвращения наводороживания и охрупчивания металла применяют смесь плавиковой и азотной кислот в определенных пропорциях [2]. Реакция растворения металла и оксида протекает в несколько ступеней. Каждая из кислот оказывает

Таблица 1. Параметры травления

Параметр	Группы		
	1	2	3
Общее время, мин	15		
Количество актов травления	10	3	1
Время одного акта травления, мин	1,5	5	15
Потеря массы, г	9,37	9,54	8,81
Изменение пористости, %	18	17	22

свое влияние на процесс [3]. Суммарная реакция процесса растворения титана:



**Материалы и методы.** Титановые образцы с объемно-центрированной кубической формой ячейки и градиентной пористостью для данного исследования были получены методом послойной электронно-лучевого плавления ARCAM A2 EBM (Мельндаль, Швеция). Топографический и элементный анализы осуществлялись с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Quanta 200 3D, FEI. Механические испытания на сжатие проводились на установке INSTRON 3369.

Травление проводилось раствором с соотношением молярных концентраций  $\text{HNO}_3 : \text{HF} = 1 : 2$ . Образцы были поделены на 3 группы в зависимости от количества актов травления образцов в растворе. Общее время травления для всех образцов составило 15 минут. До и после травления образцы были промыты дистиллированной водой.

**Результаты и обсуждение.** Параметры режимов травления и результаты взвешивания приведены в таблице 1.

### Список литературы

1. Коптюг А. В. // *Нанотехнологии. Разработка Применение*, 2016. – № 4. – С. 12–25.
2. Sefer B., Dobryden I., Almqvist N. // *Corrosion*, 2017. – № 73. – P. 394–407.
3. Milošev I., Kapun B., Šelih V. S. // *Acta Chim. Slov.*, 2013. – № 60. – P. 543–555.
4. Macak J. M., Tsuchiya H., Taveira L. J. *Biomed. Mater. Res.*, 2005. – 75A. – P. 928–933.
5. Lamolle S. F., Monjo M., Rubert M. // *Biomaterials*, 2009. – № 30. – P. 736–742.

Снимки СЭМ показали, что многостадийное травление способствует образованию более равномерной поверхности. На поверхностях всех групп образцов наблюдался частично стравленный поверхностный слой. На поверхности и внутри каналов образцов из групп 1 и 2 наблюдается минимальное количество приплавленных частиц порошка металла, внутри каналов образцов из группы 3 частицы порошка практически не стравлились.

Элементный анализ показал формирование оксида титана на поверхности образцов 1 и 2 групп [3]. Присутствие фтора из травильного раствора в слоистых областях характерно для всех групп образцов, что соответствует результатам предыдущих исследований [4]. Исследование фторсодержащих титановых поверхностей *in vitro* показало улучшение биосовместимости [5].

Механические свойства после травления улучшены, но четкой зависимости между параметрами и кратностью травления не выявлено.

Авторы выражают благодарность проф. А. В. Коптюгу за помощь в подготовке образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ20-73-10223.