

низации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Чебоксары, 2019.- С. 99-103.

13. Зайцев, П.В. Обоснование технологии очистки стойл животных / П. В. Зайцев, С. П. Зайцев, Н. П. Зайцева, В. Г. Степанов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. - Чебоксары, 2017. № 19.- С. 272-274.

14. Зайцев, П.В. Эффективность использования устройства для очистки стойл животных в фермерском хозяйстве / П. В. Зайцев, С. П. Зайцев, Н. П. Зайцева, В. Г. Степанов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. - Чебоксары, 2017. № 19. - С. 274-276.

---

---

УДК 669.715

**Калиниченко В.А.<sup>1</sup>, Калиниченко А.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> УО Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> УО Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ IN-SITU КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

*В работе рассмотрены подходы применяемые при создании литых композиционных материалов на основе медных сплавов с повышенными триботехническими характеристиками в результате реакций происходящих в момент их получения. Особенностью формирования in-situ композиционной структуры является образование упрочняющей фазы не за счет ввода частиц, а в результате протекающих процессов, связанных как с химическими превращениями, так и взаимодействием различных металлов. Представлены возможные структуры данных типов материалов.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, медные сплавы, железосодержащие сплавы, антифрикционные материалы, in-situ, растворение материалов.

UDC 669.715

**Kalinichenko V.A.<sup>1</sup>, Kalinichenko A.S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Educational institution Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

## **WEAR-RESISTANT IN-SITU COMPOSITE MATERIALS FOR PLAIN BEARINGS**

*The paper considers the approaches used in the creation of cast composite materials based on copper alloys with increased tribotechnical characteristics as a result of reactions occurring at the time of their production. A feature of the formation of an in-situ composite structure is the formation of a hardening phase not due to the introduction of particles, but as a result of ongoing processes associated with both chemical transformations and the interaction of various metals. Possible structures of these types of materials are presented.*

**Keywords:** composite materials, copper alloys, iron-containing alloys, antifriction materials, in-situ, dissolution of materials.

Композитные материалы играют огромную роль в создании новых видов оборудования, устройств, механизмов и машин благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных и физико-механических свойств. Для их синтеза используются различные технологии, в зависимости от типа матричных материалов и армирующих фаз (наполнителей). Литейные технологии получения композитов также занимают определенное место из-за их низкой стоимости и возможности изготовления деталей практически любой формы и размера [1].

Также развиваются технологии синтеза композиционных материалов *in situ*, в которых армирующая фаза образуется не путем введения определенных добавок, а в результате протекающих процессов. Это могут быть процессы химического превращения или взаимодействия различных материалов, когда они растворяются друг в друге. Эти процессы характеризуются рядом преимуществ: доступным и относительно недорогим оборудованием, коротким технологическим циклом, высокой чистотой и качеством конечных сплавов. Процессы синтеза композитов на основе алюминия *In situ* нашли определенное применение [2]. Процесс формирования *in-situ* также находит применение для композиционных материалов с медной матрицей [3, 4].

Для получения композиционных материалов типа *in-situ* в графито-шамотном тигле проводилась плавка меди в которую после проплавления был добавлен порошок ферротитана ФТ10. После выдержки расплава проводилась добавка карбидизирующего реагента и с последующей разливкой расплава по формам. сходных материалов расплавлялись в тигле, используя индукционный нагрев. Полученные образцы исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7000 со встроенной системой элементного микроанализа. На рис. 1 показана фотография образца после синтеза. Зерна матричного сплава хорошо видны, и наблюдаются в основном дисперсные интерметаллиды, хотя есть и довольно крупные включения.

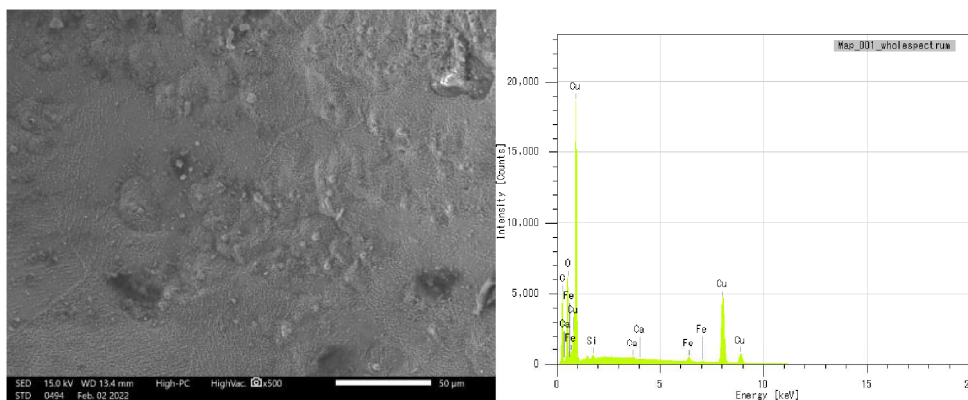


Рисунок 1 – Микроструктура и спектр основных элементов образца с медной матрицей после введения порошков ферротитана и карбидизатора.

Распределение меди, железа и углерода представлено на рис. 2.

Медь, как основной компонент матричного сплава, равномерно распределена по площади. Железо также распределено равномерно, но есть и крупные включения (рис. 2б). Углерод (рис. 2в) распределен довольно неравномерно, что, скорее всего, связано с неравномерностью его распределения при введении в расплав матрицы.

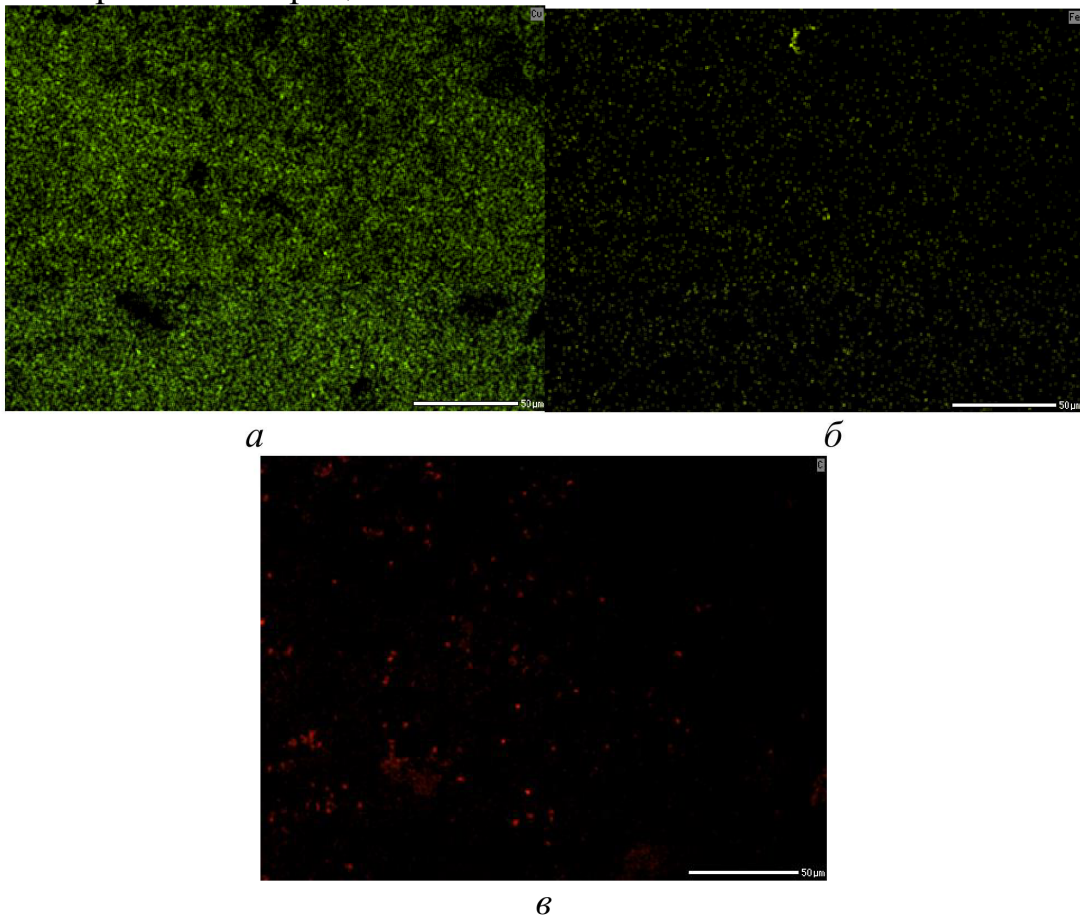


Рисунок 2 – Распределение меди (а), железа (б) и углерода (в).

Во второй серии экспериментов, в дополнение к ферротитану и карбидизатору на основе углерода, был введен кремниевый порошок. Структура образца резко изменилась (рис. 3). Размеры интерметаллидов стали намного больше и расположены внутри полостей. Образование полостей является довольно неожиданным и указывает на насыщение кислородом, что подтверждается анализом карты распределения элементов. Более того, самые тяжелые элементы сосредоточены на дне полостей (рис. 3б).

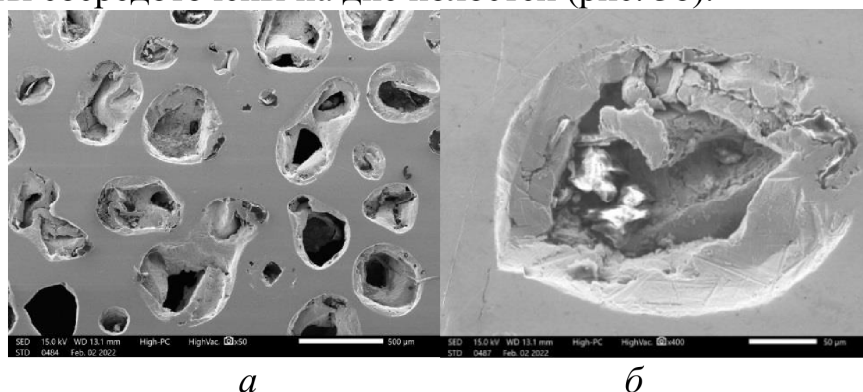
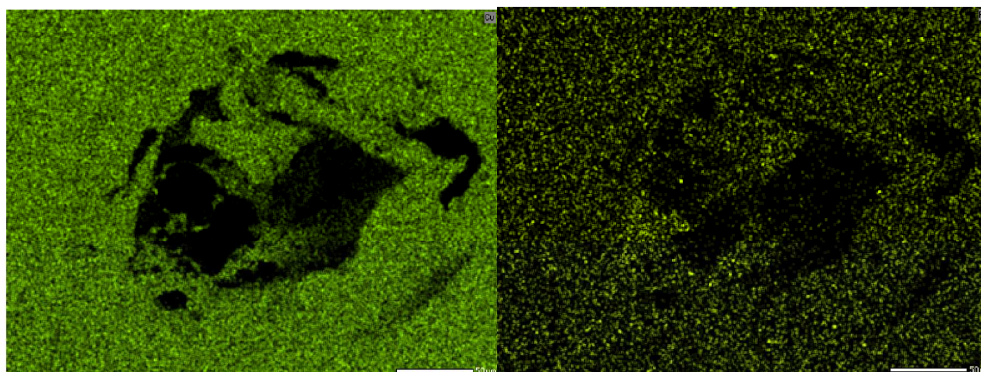


Рисунок 3 – Общая структура образца (а) и увеличение полости (б)

Анализ карт распределения элементов в области полости (рис. 4) показывает, что медь по-прежнему равномерно распределена в образце. Железо также довольно равномерно распределено с повышенной концентрацией в области полости (рис. 4б), та же картина соответствует распределению углерода из карбидообразующего состава.



*а* *б*  
Рисунок 4 – Распределение меди (а) и железа (б).

**Выводы.** Таким образом, проведенные эксперименты по формированию композитной структуры *in situ* в бронзовой матрице показали возможность реализации этого процесса при производстве литых композиционных материалов. Качество и плотность получаемого материала определяются типом растворенных элементов и температурно-временным режимом синтеза.

#### **Список использованных источников:**

1. Kalinichenko A.S., Kalinichenko V.A., Luhn V.G.. Interaction between matrix alloy and reinforcing granules during the process of casted composite material synthesis. Материалы 12-ого международного симпозиума «Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы сварка». Минск. 07-09.04.2021. с. 332-337.
2. Тимошкин И.Б., Луц В.В. Обзор методов *in situ* получения литых алюминиевых матричных композиционных материалов, армированных керамическими частицами (Обзор способов *in situ* для производства литых алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных керамическими частицами) // Современные материалы, оборудование и технологии. 2018. №4 (19). – С. 77-81.
3. Калиниченко В.А. Андрушевич А.А. Технология получения IN-SITU литых композиционных материалов. Материалы VIII МНПК Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – ФГБОУ «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». Саратов. Амирит. 2021. С.405-408.
4. Пацовский Н.В., Мацинов С.А., Калиниченко В.А. Износостойкие металлические композиционные подшипники на скольжения основе IN-SITU: применение и свойства. Сборник тезисов докладов 5 МНПК Инновационные технологии в АПК 17.11.2021. Гомель. С. 69-70.