

DOI: 10.12737/22814

Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНЕТИТОВОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ПРЕССОВАНИЯ

mpvbgtu@mail.ru

В данной статье приведены результаты электронно-микроскопических исследований поверхности образцов модифицированного высокодисперсного магнетитового железорудного концентрата подвергнутого высоким давлениям прессования. Магнетит используется в качестве наполнителя при разработке и проектированию новых видов радиационно-защитных материалов, в том числе материалов на основе алюминиевой матрицы.

**Ключевые слова:** магнетитовый железорудный концентрат, электронно-микроскопические исследования, композиционный материал, радиационно-защитный материал, алюмосодержащая матрица, высокодисперсный, поверхность, давление прессования.

**Введение.** В связи с ростом интереса к области радиационной безопасности, в последние годы возрастает количество разрабатываемых новых видов радиационно-защитных материалов. Создаются материалы включающие в себя несколько компонентов, обладающих различными физико-химическими и механическими свойствами. В последнее время разрабатываются все больше новых видов радиационно-защитных материалов, иных материалов, изделий и конструкций специального назначения, которые состоят из двух и более компонентов, отличающихся по своей природе [1–22]. В современном радиационно-защитном материаловедении актуальной задачей является разработка новых видов композиционных материалов, в том числе и композитов на основе матриц цветных металлов с различными наполнителями [23–37].

**Методология.** Электронно-микроскопические исследования выполнены на сканирующем электронном микроскопе высоко-го разрешения "TESCAN MIRA 3 LMU".

**Основная часть.** Одним из наполнителей, который может использоваться в качестве добавки в матрицу цветных металлов, а в частности алюмосодержащую матрицу, является магнетитовый железорудный концентрат Лебединского месторождения КМА. После процесса химической обработки и очистки такой железорудный концентрат на 99,7–99,9 % представляет собой высокодисперсный магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) с плотностью 4900–5200 кг/м<sup>3</sup>.

Некоторые новые виды радиационно-защитных материалов получают при высоких давлениях прессования. Перед процессом разработки и получения новых видов радиационно-защитных композиционных материалов на ос-

нове алюмосодержащей матрицы и наполнителей, одним из которых является высокодисперсный магнетит, представлялся научный интерес в электронно-микроскопических исследованиях его свойств при высоких значениях давления прессования.

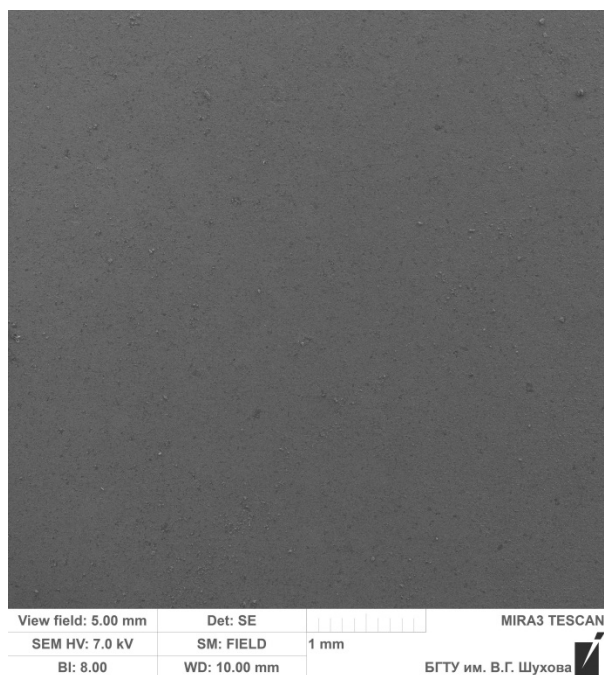
Предварительно магнетит прошел процесс модифицирования с целью привития на его поверхности микрослоя оболочки в виде оксида алюминия. Дальнейшие исследования были проведены с модифицированным высокодисперсным гематитовым концентратом Лебединского месторождения КМА.

Были изучены поверхности образцов высокодисперсного магнетитового железорудного концентрата подвергнутого давлениям прессования 50000 кгс/см<sup>2</sup>, 100000 кгс/см<sup>2</sup>, 150000 кгс/см<sup>2</sup>, 200000 кгс/см<sup>2</sup>.

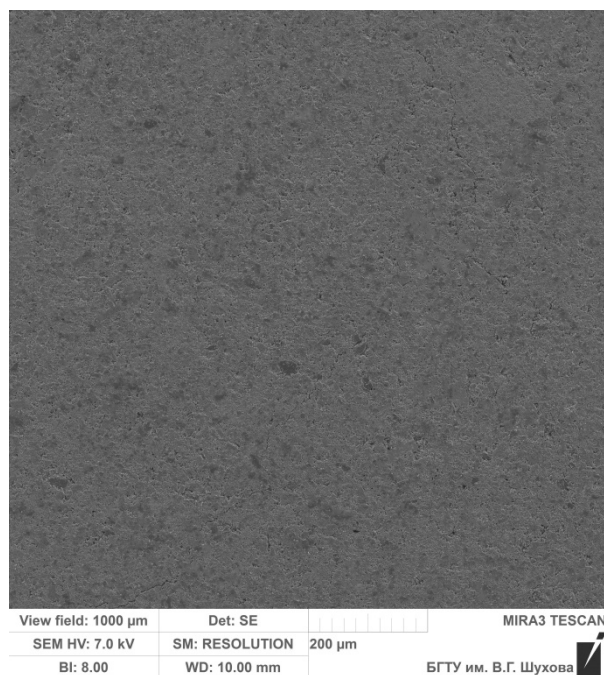
На рисунке 1 представлены микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетитового железорудного концентрата подвергнутого давлению прессования 50000 кгс/см<sup>2</sup> с кратностями увеличения 5000 мкм, 1000 мкм, 100 мкм, 10 мкм.

На рисунке 2 представлены микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетитового железорудного концентрата подвергнутого давлению прессования 100000 кгс/см<sup>2</sup> с кратностями увеличения: 5000 мкм, 1000 мкм, 100 мкм, 10 мкм.

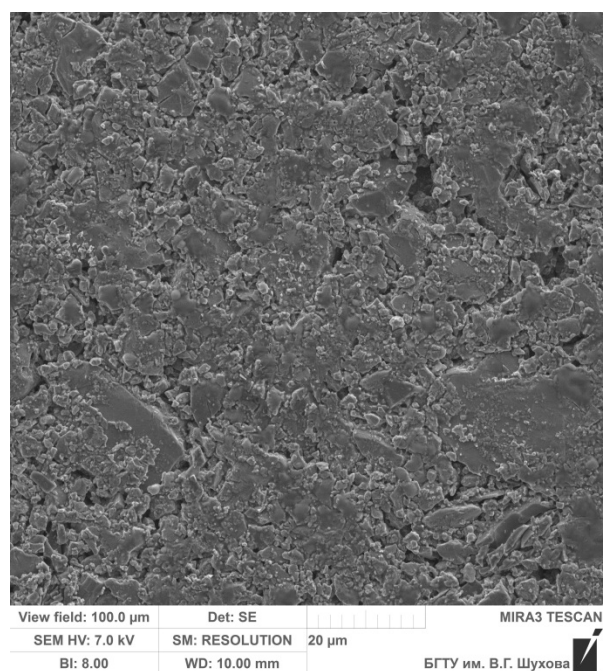
На рисунке 3 представлены микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетитового железорудного концентрата подвергнутого давлению прессования 150000 кгс/см<sup>2</sup> с кратностями увеличения: 5000 мкм, 1000 мкм, 100 мкм, 10 мкм.



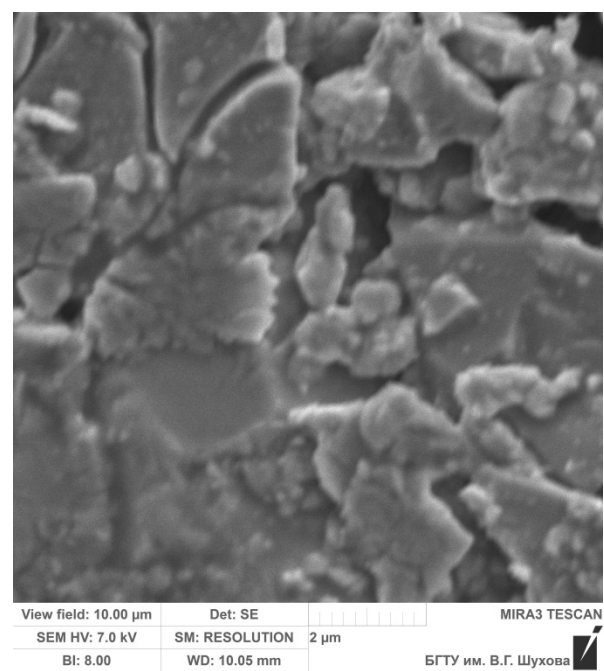
а)



б)

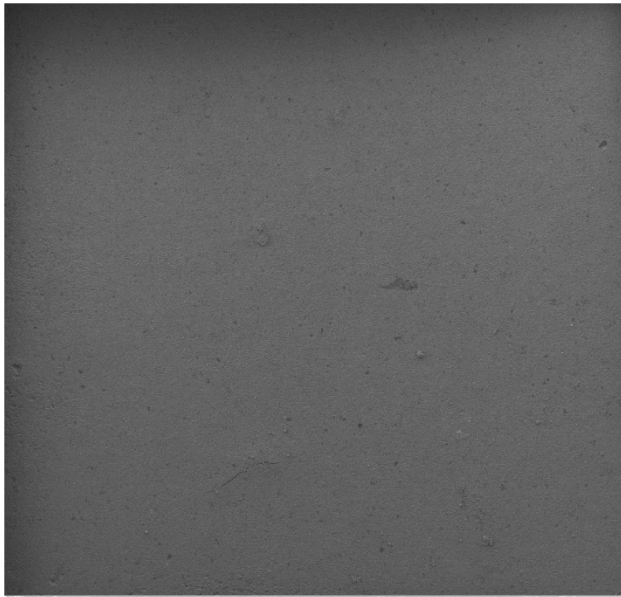


в)



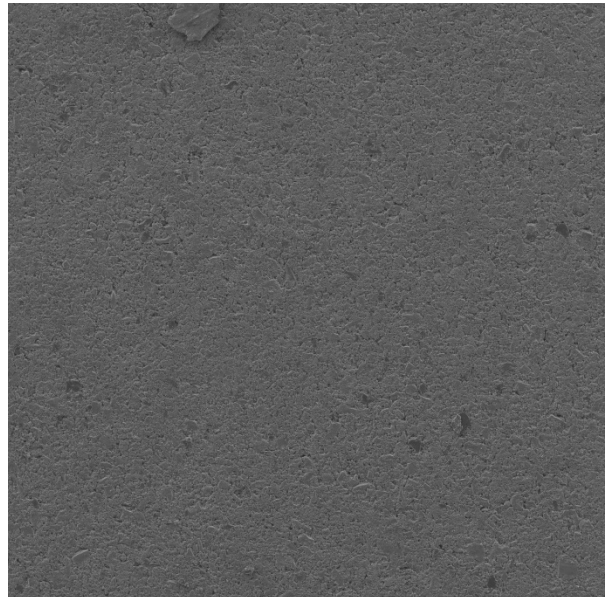
г)

Рис. 1. Микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетита, подвергнутого давлению прессования 50000 кгс/см<sup>2</sup> с увеличением: а) 5000 мкм, б) 1000 мкм, в) 100 мкм, г) 10 мкм



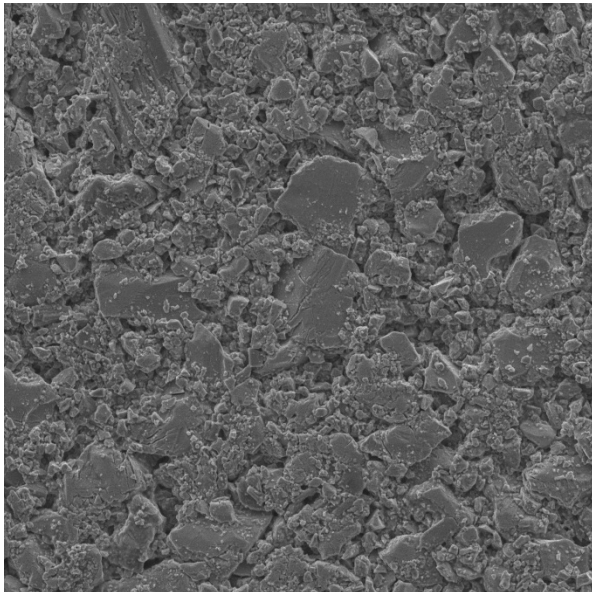
View field: 5.00 mm	Det: SE		MIRA3 TESCAN
SEM HV: 7.0 kV	SM: FIELD	1 mm	
BI: 8.00	WD: 10.02 mm		БГТУ им. В.Г. Шухова

а)



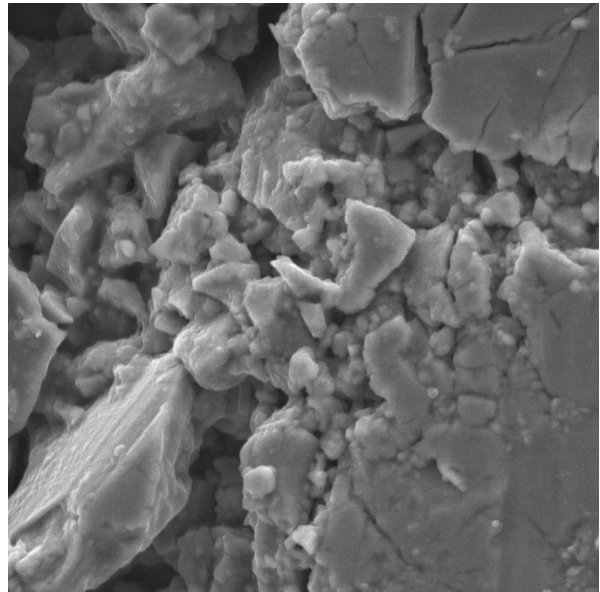
View field: 1000 μm	Det: SE		MIRA3 TESCAN
SEM HV: 7.0 kV	SM: RESOLUTION	200 μm	
BI: 8.00	WD: 10.02 mm		БГТУ им. В.Г. Шухова

б)



View field: 100.0 μm	Det: SE		MIRA3 TESCAN
SEM HV: 7.0 kV	SM: RESOLUTION	20 μm	
BI: 8.00	WD: 10.02 mm		БГТУ им. В.Г. Шухова

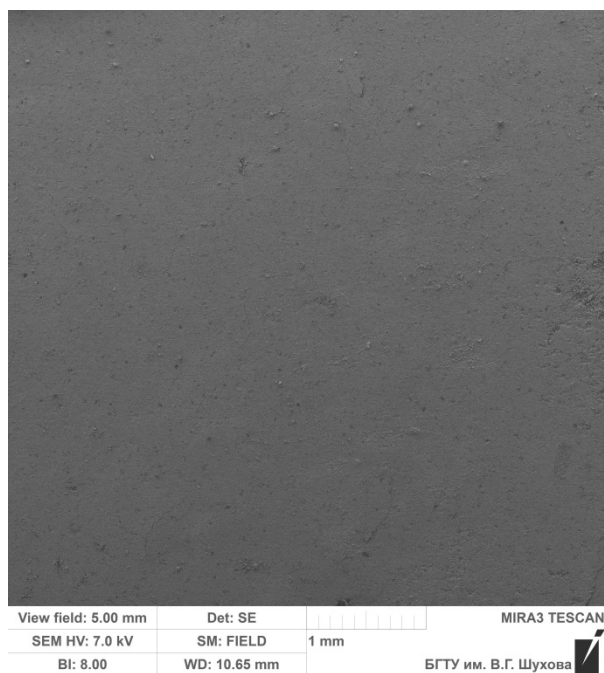
в)



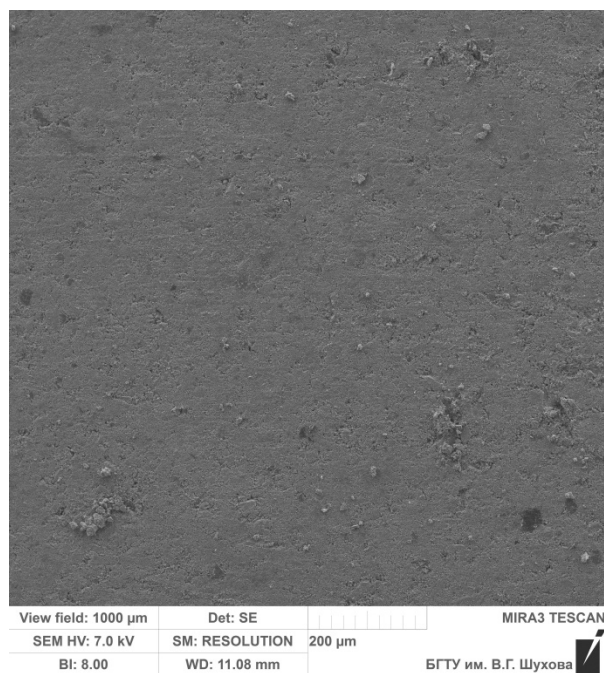
View field: 10.00 μm	Det: SE		MIRA3 TESCAN
SEM HV: 7.0 kV	SM: RESOLUTION	2 μm	
BI: 8.00	WD: 9.96 mm		БГТУ им. В.Г. Шухова

г)

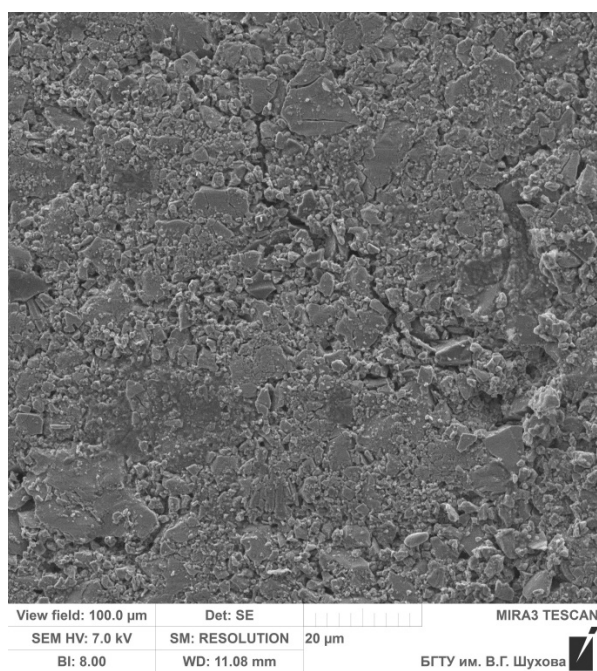
Рис. 2. Микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетита, подвергнутого давлению прессования 100000 кгс/см<sup>2</sup> с увеличением: а) 5000 мкм, б) 1000 мкм, в) 100 мкм, г) 10 мкм



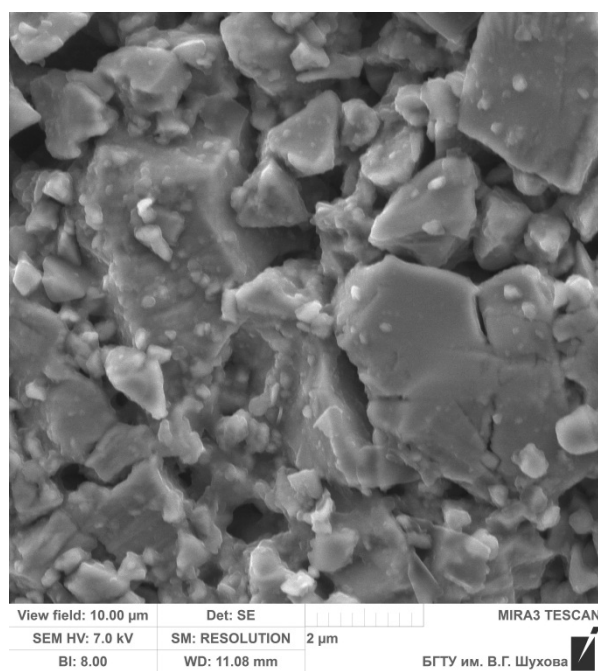
а)



б)



в)



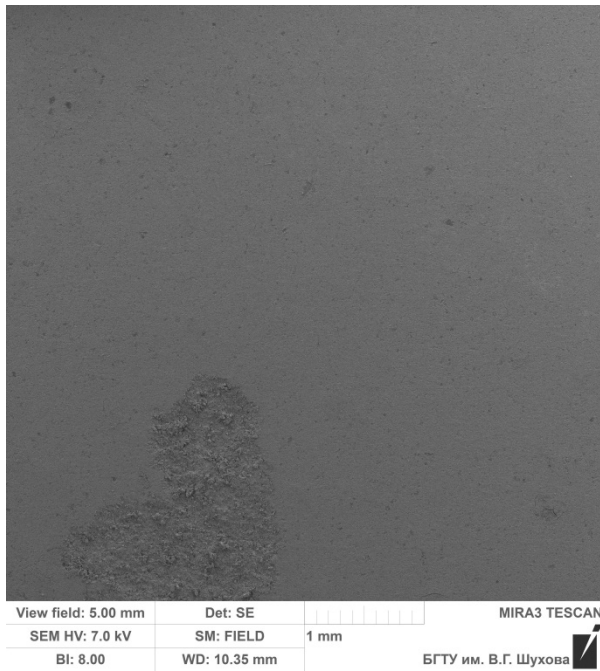
г)

Рис. 3. Микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетита, подвергнутого давлению прессования 150000 кгс/см<sup>2</sup> с увеличением: а) 5000 мкм, б) 1000 мкм, в) 100 мкм, г) 10 мкм

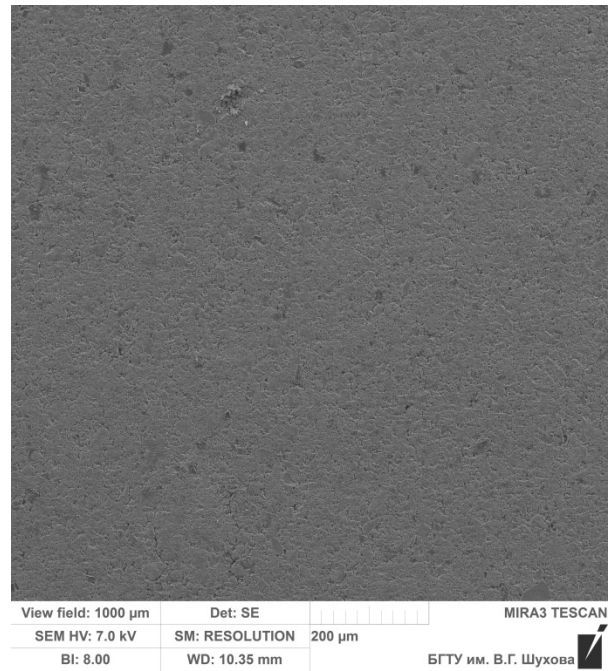


На рисунке 4 представлены микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетитового железорудного concentra-

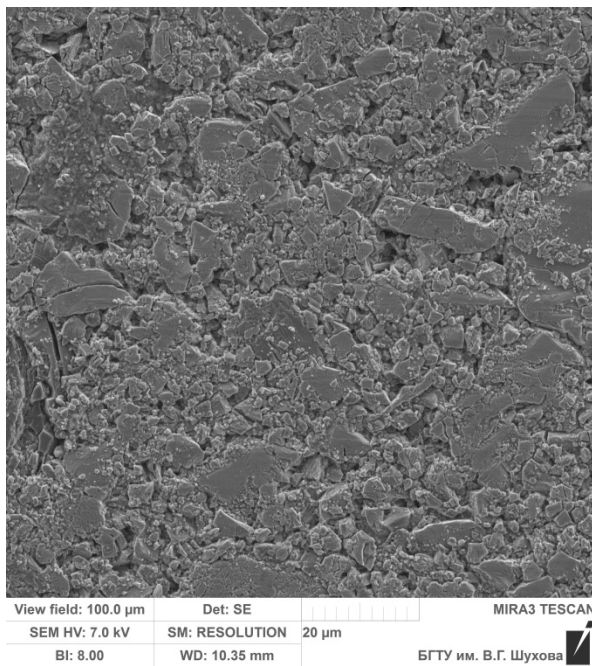
та подвергнутого давлению прессования 200000 кгс/см<sup>2</sup> с кратностями увеличения: 5000 мкм, 1000 мкм, 100 мкм, 10 мкм.



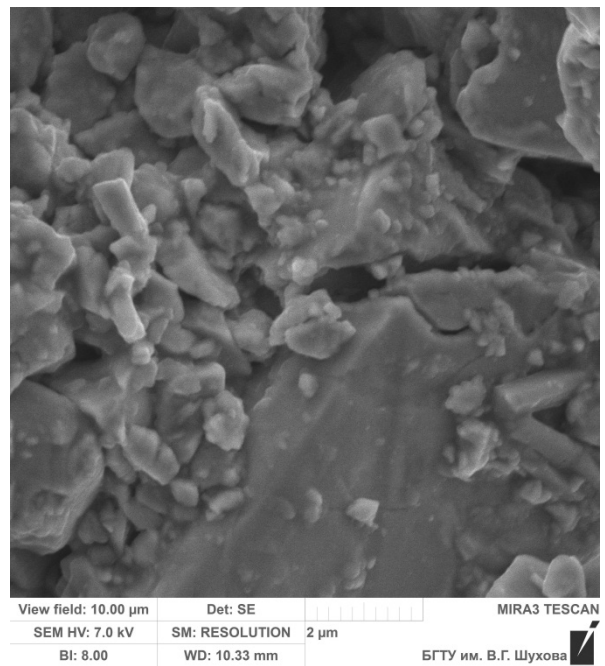
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Микрофотографии поверхности образца высокодисперсного магнетита, подвергнутого давлению прессования 200000 кгс/см<sup>2</sup> с увеличением: а) 5000 мкм, б) 1000 мкм, в) 100 мкм, г) 10 мкм

Анализируя данные рисунков 1–4 можно сделать следующие выводы: на микрофотографиях образца высокодисперсного магнетита подвергнутого давлению прессования  $50000 \text{ кгс/см}^2$  (рис. 1 а–г) видно, что частицам материала присуща неправильная форма с сильной агрегацией и шероховатыми гранями. Образец при таком давлении прессования имеет недостаточно плотную компоновку и уплотнение частиц магнетита в нем, заметны небольшие области, незаполненные частицами гематита по всему объему образца.

При повышении давления прессования до  $100000 \text{ кгс/см}^2$  (рис. 2 а–г) наблюдается небольшое повышение степени уплотнения образца по всему объему, а также образование на поверхности более крупных частиц магнетита незначительных микротрещин.

При увеличении давления прессования до  $150000 \text{ кгс/см}^2$  –  $200000 \text{ кгс/см}^2$  (рис. 3 а–г, 4 а–г) наблюдается значительное увеличение степени разрушения наиболее больших по размеру частиц магнетита в общей массе образцов материала: агрегация их поверхности изменяется, появляются сглаженные области и грани частиц магнетита; визуально наблюдается более компактная упаковка частиц магнетитового железорудного концентрата по объему всего образца; так же можно наблюдать зоны хорошей и недостаточной спрессованности.

В зонах с хорошей спрессованностью наблюдается довольно плотная упаковка слоев материала частицами магнетита, что говорит о качественном распределении частиц магнетита всего спектра фракционного состава по данному исследуемому объему образца. Но на микрофотографиях с давлением прессования  $150000 \text{ кгс/см}^2$  отмечаются так же небольшие по размерам зоны с недостаточной спрессованностью, обоснованные нехваткой частиц магнетита мелких фракций. С увеличением давления прессования, степень разрушения частиц гематита наибольших размеров увеличивается и упаковка частиц по всему объему композита становится плотнее. При давлении прессования  $200000 \text{ кгс/см}^2$  на микрофотографиях отмечается увеличение зон с хорошей спрессованностью, предполагаемыми причинами чего, является сосредоточие большого процента мелкой фракции материала в данных зонах, и как следствие повышение степени скомпонованности и спрессованности частиц магнетита в таких зонах.

На рисунке 5 представлен скол магнетита подвергнутого давлению прессования  $200000 \text{ кгс/см}^2$ .

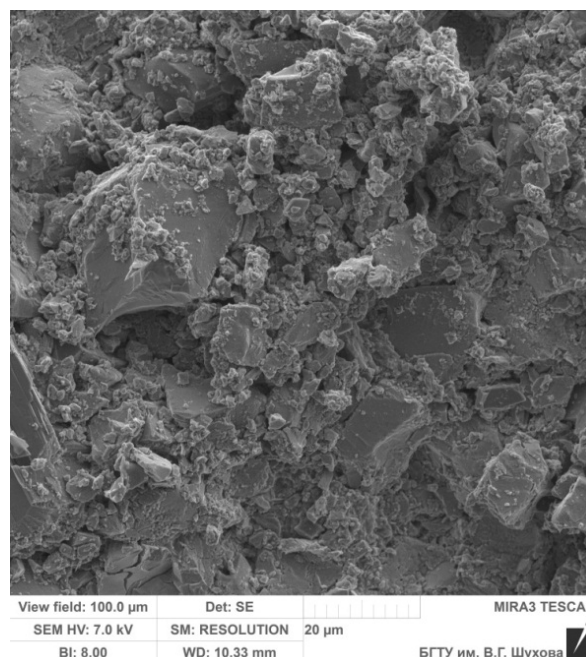


Рис. 5. Микрофотографии скола образца высокодисперсного магнетита, подвергнутого давлению прессования  $200000 \text{ кгс/см}^2$  с увеличением  $100 \text{ мкм}$

Из фотографии видно, что частицы магнетита довольно плотно прилегают друг к другу, но в некоторых местах наблюдается неоднородность, которая обосновывается, как было сказано выше, недостатком его частиц самой мелкой фракции.

**Выводы.** Из выше представленных исследований можно сделать предположение, что структуру поверхности образца, полученного методом прессования при высоких давлениях из высокодисперсного модифицированного магнетитового железорудного концентрата, а также его структуру по всему объему, можно сделать более плотной за счет добавления ориентировочно 20–25 % частиц магнетита более мелкой фракции (до  $1 \text{ мкм}$ ) с последующим увеличением давления его прессования в 2–2,5 раза.

В дальнейшей работе большой практический и научный интерес представляют исследования свойств поверхности высокодисперсного модифицированного гематитового концентрата на зондовом микроскопе (класс атомно-силовых микроскопов).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королёв Е.В., Самошин А.П., Смирнов В.А., Королева О.В., Гришина А.Н. Методики и алгоритм синтеза радиационно-защитных материалов нового поколения: Учебное пособие. Пенза: ПГУАС, 2009. 130 с.
2. Потапов Ю.Б., Борисов Ю.М., Барабаш Д.Е. Концептуальный подход к проектированию

эффективных композиций на основе модифицированных олигодиенов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 69–74.

3. Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Волчков В.М., Писарев С.П., Новиков Р.Е., Загребина А.А. Влияние температуры на процессы деформирования слоистых титаноалюминиевых композитов при изгибе // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 5 (160). С. 100–103

4. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. 2015. № 9–3. С. 507–510.

5. Гарькина И.А., Данилов А.М., Домке Э.Р., Королев Е.В. Синтез композиционных материалов как сложных систем // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2009. № 4. С. 48–55.

6. Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д., Кравченков А.Н., Трубицын П.Н. Применение механизмов твердо-жидкофазного взаимодействия с целью получения новых радиационно-защитных материалов // Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование – наука – инновационная деятельность Труды конференции. МГИУ – ИТИП РАО – МИИР – ИМБ – МАН ИПТ. 2011. С. 386–388.

7. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В., Павленко З.В., Самойлова Ю.М. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 491–499.

8. Kasagi T., Suenaga S., Tsutaoka T., Hatakeyama K. High frequency permeability of ferromagnetic metal composite materials // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. Т. 310. №2 SUPPL. PART 3.P. 2566–2568.

9. Данилов А.М., Королев Е.В., Самошин А.П., Смирнов В.А. Материалы специального назначения: выбор элементного состава // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 37–40.

10. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 10. С. 85–86.

11. Потапов Ю.Б., Эффективные строительные композиты и конструкции на их основе с комплексом заданных свойств. Промышленное и гражданское строительство. 2010. №9. С. 9–11.

12. Болдырев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г. Ресурсосберегающие технологии получения металлобетонных строительных композитов // Изв. вузов. Строительство. 2002. №4. С. 38 – 43.

13. Лаптев Г.А., Потапов Ю.Б., Ерофеев В.Т. Разработка технологии изготовления металлобетонов // Строительство и реконструкция. 2015. № 1 (57). С. 123–129.

14. Потапов Ю.Б., Борисов Ю.М., Барабаш Д.Е. Концептуальный подход к проектированию эффективных композиций на основе модифицированных олигодиенов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 69–74.

15. Королев Е.В. Серные композиционные материалы специального назначения // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 99–106.

16. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Куприева О.В., Самойлова Ю.М. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 320–330.

17. Баженов Ю.М., Королев Е.В., Самошин А.П., Королева О.В. Выбор заполнителя для радиационно-защитных бетонов вариатропно-каркасной структуры // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 1. С. 9–13.

18. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Дороганов В.А., Черкашина Н.И., Евтушенко Е.И. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуа-

тируемые при высоких температурах // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 7–8. С. 23–25.

19. Belomytsev M.Yu., Kozlov D.A, Stability of composite materials nail–refractory metal with cellular structure // *Metal Science and Heat Treatment*. 2006. Т. 48. № 5–6. Р. 255–260.

20. Гуревич Л.М., Трудов А.Ф., Арисова В.Н. Технология получения порошковых композиционных материалов // Учебно-методическое пособие. Волгоград, ВолгГТУ. 2016. 107 с.

21. Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Самойлова Ю.М. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 12–7. С. 1199–1202.

22. Minaev Y.A.. Fundamental property of metals–grain boundaries phase transition as a basis of nanostructured layers, materials and composites production // *Materials Science Forum*. 2010. Т. 654–656. Р. 1852–1855.

23. Гуревич Л.М., Арисова В.Н., Пономарева И.А. Влияние формы образца на поведение при сжатии магниево-алюминиевых композитов // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2015. № 8 (168). С. 116–120.

24. Болдырев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г., Особенности создания композиционных строительных материалов с металлическими матрицами (металлобетонов) // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 5–11.

25. Матюхин П.В. Радиационно-защитный конструкционный композиционный материал // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2014. № 9 (28). С. 40–41.

26. Авраамов Ю.С., Кравченков А.Н., Кравченкова И.А., Трубицын П.Н., Шляпин А.Д. Получение антифрикционного композиционного материала на основе силумина ак12 // *Известия Московского государственного индустриального университета*. 2011. № 3 (23). С. 10–15.

27. Самошин А.П. Каркасные металлобетоны для защиты от радиации // *Строительные материалы*. 2008. № 9. С. 84–88.

28. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 1–1. С. 148–152.

29. Авраамов Ю.С., Кошкин В.И., Кравченкова И.А., Кравченков А.Н., Шляпин А.Д. О выборе элемента–лидера при поверхностном контактном легировании сплавов на основе алюминия и меди из расплавов тяжелых легкоплавких металлов // *Машиностроение и инженерное образование*. 2010. № 1. С. 37–41.

30. Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Арисова В.Н., Пономарева И.А., Щербин Д.В. Моделирование деформаций при горячей прокатке магниево-алюминиевого композита // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2015. № 8 (168). С. 120–124

31. Матюхин П.В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 9. С. 35–39.

32. Кравченков А.Н., Шляпин А.Д. Контактное легирование легкоплавкими элементами // *Машиностроение и инженерное образование*. 2009. № 4. С. 31–34.

33. Гуревич Л.М., Арисова В.Н., Пономарева И.А. Моделирование поведения при сжатии магниево-алюминиевых композитов // *Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР–Консалт»*. 2015. С. 56–57.

34. Авраамов Ю.С., Кравченков А.Н., Кравченкова И.А., Шляпин А.Д. Механические и антифрикционные свойства сплавов Fe–Cu–Pb–Sn–Zn, полученных методом контактного легирования // *Машиностроение и инженерное образование*. 2010. № 4. С. 47–51.

35. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Черкашина Н.И., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2014. № 10. С. 32–36.

36. Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Арисова В.Н., Пономарева И.А., Голик А.А. Моделирование контактного упрочнения в магниево-алюминиевых композитах // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2014. Т. 9. № 9 (136). С. 72–76.

37. Арисова В.Н., Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Самарский Д.С. Влияние прокатки на деформацию трехслойного магниево-алюминиевого композита // *Деформация и разрушение материалов*. 2007. № 2. С. 37–39.



---

**Matyukhin P.V.**

**ELECTRON MICROSCOPIC STUDY MAGNETITE IRON  
CONCENTRATE EXPOSED TO HIGH COMPACTION PRESSURE**

*This article presents the results of electron–microscopic study of samples surface–modified finely divided magnetite iron ore concentrate subjected to high pressure molding. Magnetite used as a filler in the development and design of new types of radiation protective materials, including materials based on aluminum matrix.*

**Key words:** *magnetite iron ore concentrate, electron–microscopic study, a composite material, the radiation–shielding material, aluminum–containing matrix, highly dispersed, surface compaction pressure.*

---

**Матюхин Павел Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E–mail: mpvbgtu@mail.ru