

Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.,
Ястребинский Р.Н., канд. физ-мат. наук, доц.,
Широков А.В., магистрант.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНЕТИТА, ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ПРЕССОВАНИЯ*

mpvbgtu@mail.ru

В данной статье приведены основные физико-механические характеристики магнетита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования; приведены методики с помощью которых проводились научные исследования. Приведены данные влияния времени помола магнетита на изменение среднего показателя диаметра частиц и их средней удельной поверхности. Приведены данные изучения воздействия высоких давлений прессования на плотность и на основные прочностные характеристики исследуемого материала. Данный материал может являться наполнителем при разработке новых видов радиационно-защитных материалов строительного назначения.

Ключевые слова: магнетит, дисперсная частица, свойства, физико-механика, воздействие, дисперсность, прочность на сжатие, плотность, давление.

Введение. Развитие атомной энергетики и атомно-строительной индустрии, широкое внедрение ядерно-энергетических объектов во многие отрасли жизнедеятельности человека выдвигает на первый план проблему выполнения наиболее из важнейших требований – обеспечения норм радиационной безопасности. Это может быть достигнуто в том случае, если подвергающиеся воздействию ионизирующих излучений строительные конструкции объектов будут изготовлены с применением материалов, обладающих высокими физико-механическими характеристиками, технологичностью, экологичностью и в тоже время высокими показателями радиационно-защитных свойств. Одним из перспективных направлений является использование экологически чистого и широко распространённого в природе наполнителя для радиационно-защитных материалов строительного назначения, такого как

модифицированный магнетитовый железорудный концентрат [1–18].

Методология. Помол материала осуществлялся в шаровой мельнице. Фракционный состав частиц магнетитового железорудного концентрата исследован методом лазерного рассеивания на лазерном анализаторе размеров частиц "ANALYSETTE 22 NanoTecplus", а также методом ситового анализа с помощью стандартного набора сит. Образцы подвергнутые физико-механическим испытаниям, изучения основных физико-механических характеристик материала выполнены в соответствии с установленными нормативными документами (ГОСТы, СНИПы, ТУ).

Основная часть. Для исследований был выбран высокодисперсный обогащенный железорудный концентрат с плотностью 4900-5200 кг/м³ Лебединского месторождения КМА со следующим химическим и минеральным составом представленных в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1

Химический состав железорудного концентрата Лебединского месторождения КМА (мас.%)

Fe ₃ O ₄	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
67,7	27,1	4,25	0,26	0,13	0,36	0,09	0,11

Таблица 2

Минеральный состав железорудного концентрата Лебединского месторождения КМА (мас.%)

Магнетит	Гематит	Силикаты	Кварц	Карбонаты
94,1	2,9	0,4	2,4	0,2

Минеральный состав высокодисперсного магнетитового железорудного концентрата в результате химической обработки и очистки на 99,7–99,9 % представлен магнетитом (Fe_3O_4).

Магнетитовый железорудный концентрат после проведения мероприятий по очистке и химической обработки, проходил процесс модифицирования, и в работе использовался модифицированный наполнитель с пленкой на его поверхности из оксида алюминия.

Перед процессом формования образцов материала и дальнейшего исследования их основ-

ных физико-механических характеристик представлялся интерес в определении зависимости влияния времени помола исходного материала на дисперсность его частиц.

На рисунках 1–3 приведены результаты исследований, дисперсности частиц магнетита в зависимости от времени помола.

На рисунке 1 представлены результаты исследования фракционного состава помола магнетита в течении 30 минут.

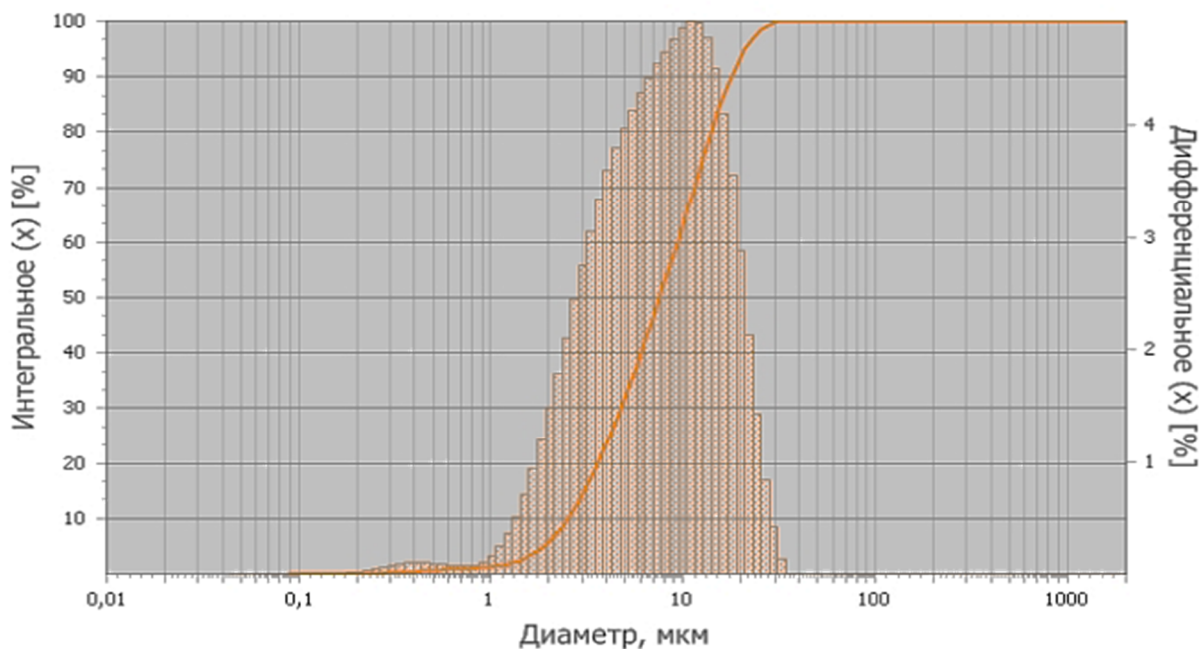


Рис. 1. Фракционный состав магнетита с помолем в течение 30 минут

На рисунке 1 видно, что модальный диаметр частиц исходного материала составляет 11,36 мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет $12383 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Размер фракционного состава частиц составляет: 0,2 мкм – 1 мкм = 1,29 %, 1 мкм – 5 мкм = 31,17 %, 5 мкм – 10 мкм = 33,3 %, 10 мкм – 35 мкм = 34,23 %. На рисунке 2 представлены результаты исследования фракционного состава магнетита с помолем в течении 60 минут.

Из рисунка 2 следует, что модальный диаметр частиц материала составляет 8,76 мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет $14424 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Размер фракционного состава частиц составляет: 0,2 мкм – 1 мкм = 1,81 %, 1 мкм – 5 мкм = 37,09 %, 5 мкм – 10 мкм = 32,78 %, 10 мкм – 35 мкм = 28,32 %.

На рисунке 3 представлены результаты исследования фракционного состава третьего помола в течение 90 минут.

Из рисунка 3 следует, что модальный диаметр частиц материала составляет 5,21

мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет $16326 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Размер фракционного состава частиц составляет: 0,15 мкм – 1 мкм = 2,34 %, 1 мкм – 5 мкм = 44,2 %, 5 мкм – 10 мкм = 31,52 %, 10 мкм – 32 мкм = 21,94 %.

На рисунке 4 представлены результаты исследования фракционного состава четвертого помола в течение 120 минут.

Из рисунка 4 следует, что модальный диаметр частиц материала составляет 5,11 мкм, а средняя удельная поверхность частиц составляет $16351 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Размер фракционного состава частиц составляет: 0,15 мкм – 1 мкм = 2,35 %, 1 мкм – 5 мкм = 44,7 %, 5 мкм – 10 мкм = 31,48 %, 10 мкм – 32 мкм = 21,47 %.

Из полученных данных видно, что с увеличением времени помола магнетита с 30 минут до 60 минут происходит уменьшение среднего показателя диаметра и одновременно увеличение средней удельной поверхности частиц магнетита (в 1,164 раза). С дальнейшим увеличением времени помола исходного мате-

риала до 90 минут средние показатели диаметра частиц значительно уменьшаются (в 2,18 раза), а удельной поверхности увеличиваются в (1,32 раза). Объем фракции от 0,2 мкм до 1

мкм увеличился в 1,81 раза, от 1 мкм до 5 мкм увеличился в 1,41 раза, от 5 мкм до 10 мкм уменьшился в 1,06 раза, от 10 мкм до 35 мкм уменьшился в 1,56 раза.

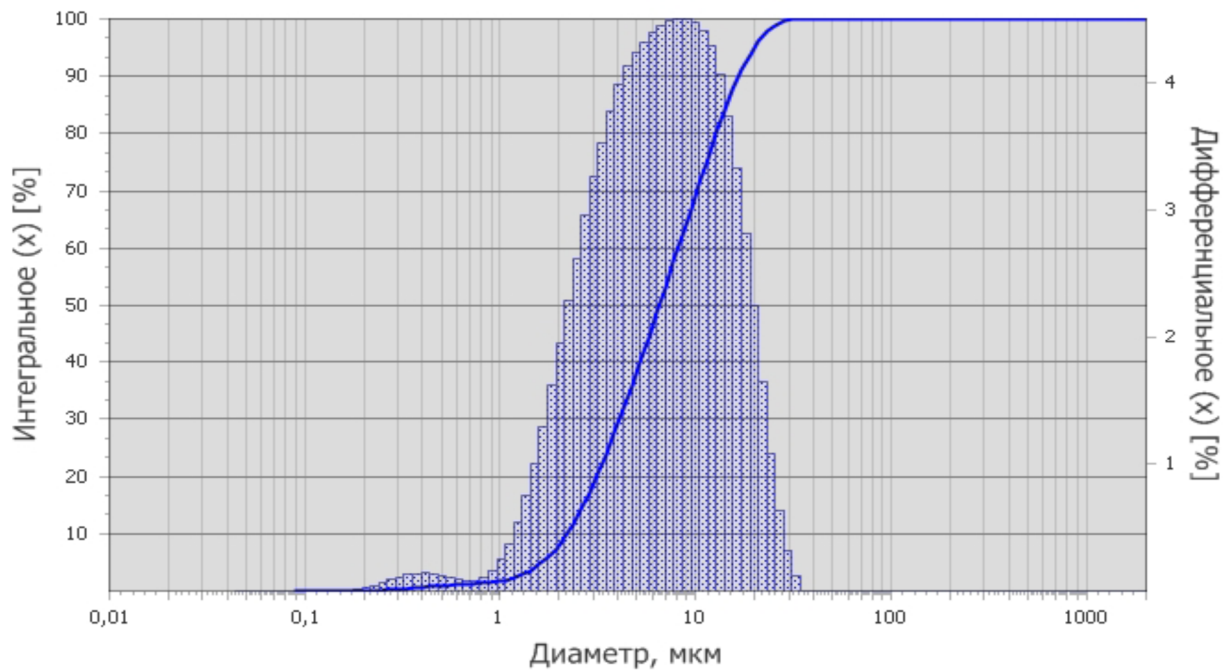


Рис. 2. Фракционный состав магнетита с помолом в течение 60 минут

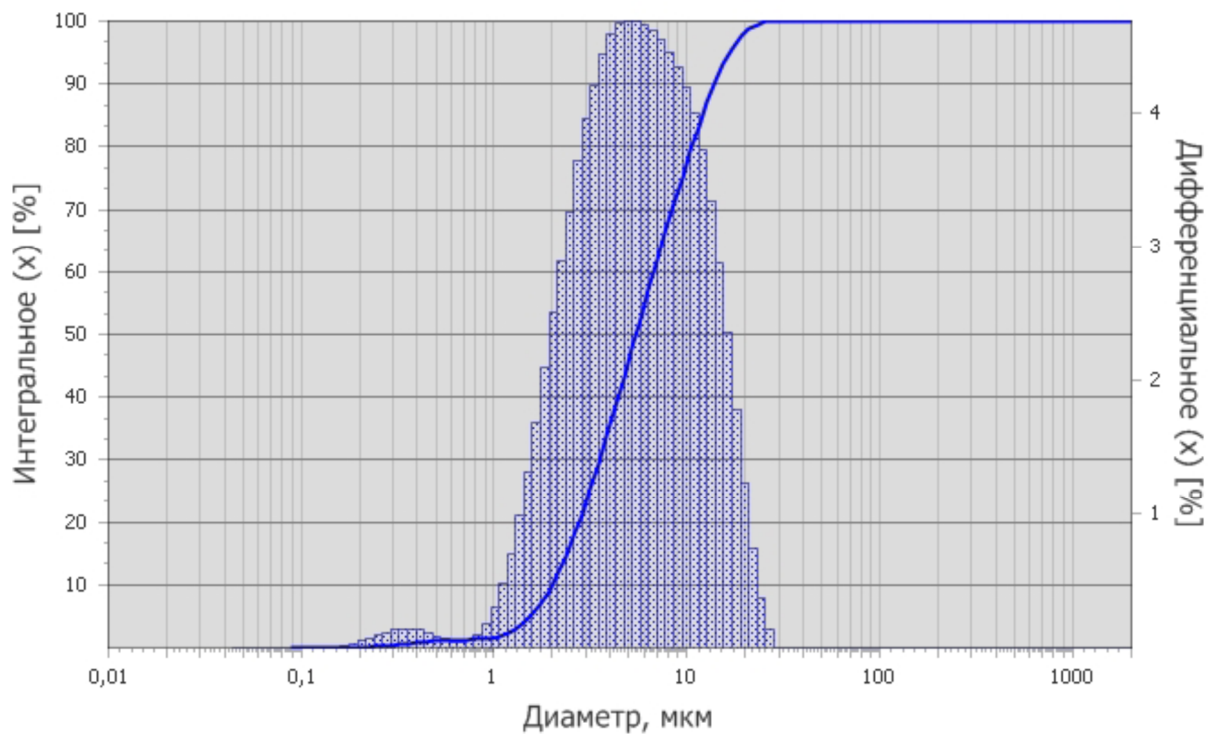


Рис. 3. Фракционный состав магнетита с помолом в течение 90 минут

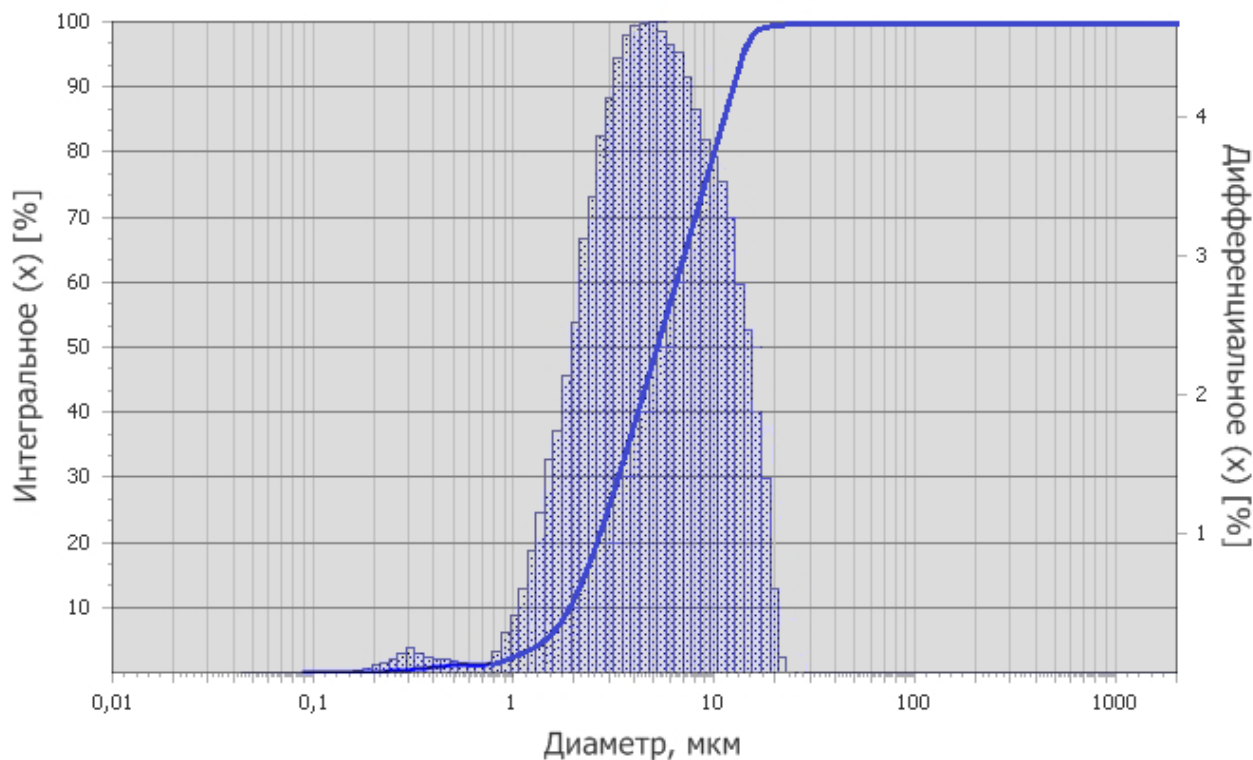


Рис. 4. Фракционный состав магнетита с помолом в течение 120 минут

При дальнейшем увеличении времени помола исходного материала до 120 минут, средние показатели диаметра частиц и удельной поверхности изменяются незначительно (в пределах погрешности измерения прибора). В связи с этим было принято решение о целесообразности использования в дальнейшей работе магнетитового железорудного концентрата Лебединского месторождения КМА, подвергнутого помолу 90 минут.

Дальнейшим этапом исследований было изучение зависимости различных давлений прессования на плотность образцов магнетита и их прочностные характеристики на сжатие. Формования образцов магнетитового железорудного концентрата осуществлялись со следующими значениями давления прессования: 50000 кгс/см², 100000 кгс/см², 150000 кгс/см², 200000 кгс/см². Магнетитовый железорудный концентрат после технологической стадии его помола подвергался процессу модифицирования с целью нанесения на его поверхность микро-слоя алюминиевой оболочки. Модифицированный магнетит является одним из наполнителей при разработке новых видов радиационно-защитных материалов на основе алюминиевой матрицы [1–7, 10, 12, 13, 18].

На рисунке 5 представлены данные результатов зависимости плотности образцов магнетита от давления их прессования.

В результате воздействия давления прессования на магнетит 50000 кгс/см² плотность ис-

ходного материала составляет 4131 кг/м³, в 100000 кгс/см² плотность составляет 4148 кг/м³, в 150000 кгс/см² плотность составляет 4192 кг/м³, в 200000 кгс/см² плотность составляет 4277 кг/м³.

Из приведённых данных исследований представленных на рисунке 5 видно что при увеличении давления прессования с 50000 кгс/см² до 200000 кгс/см² плотность образца железорудного концентрата возросла в 1,035 раза; то есть наблюдается тенденция роста плотности магнетитового железорудного концентрата при повышении давления прессования на него. В дальнейшем была изучена зависимость прочности на сжатие образцов гематита от давления их прессования.

На рисунке 6 представлены данные исследований зависимости прочности на сжатие образцов гематита от давления их прессования.

Анализируя полученные данные, приведённые на рисунке 6 можно сделать вывод, что при увеличении давления прессования образцов магнетитового концентрата растут показатели их прочностных характеристик. Например можно наблюдать значительное увеличение прочности на сжатие (в 3,5 раза) образца полученного при давлении 200000 кгс/см², по сравнению с образцом полученным при давлении 50000 кгс/см²; но при рассмотрении значений прочностей на сжатие образцов полученных при более высоких давлениях, таких как образец № 3,4 (полученные при давлениях прессования 150000

кгс/см² и 200000 кгс/см²) наблюдается уже незначительное увеличение значений прочности на сжатие в 1,5 раза, что говорит о повышении плотности упаковки структуры образцов магнетита, г/см³

титового железорудного концентрата, то есть происходит более плотное «компактирование» частиц магнетита внутри образца.

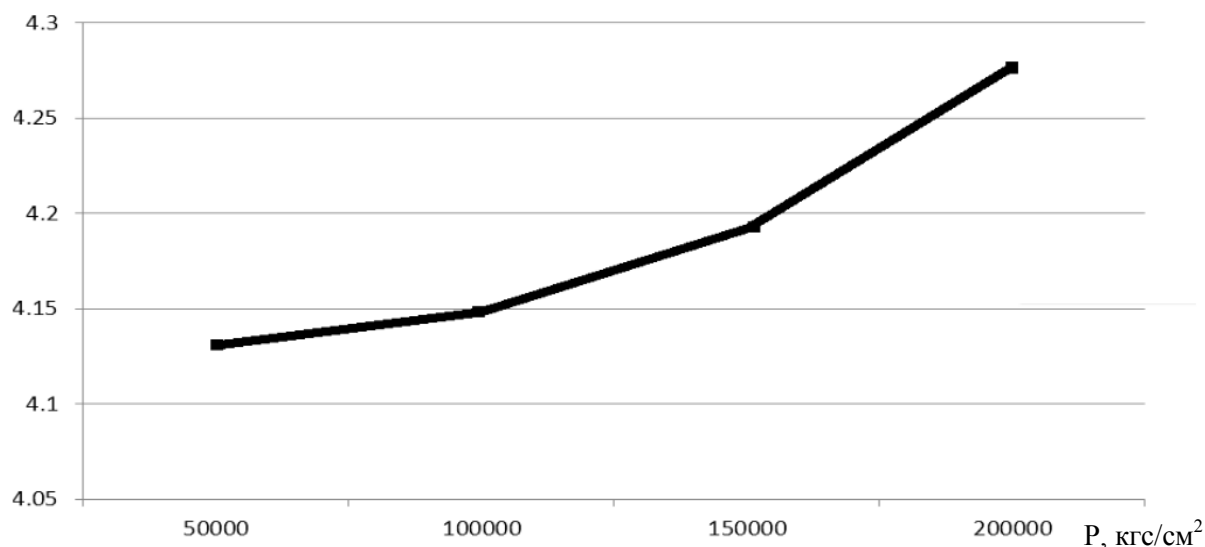


Рис. 5. Результаты зависимости плотности образцов магнетита от давления их прессования

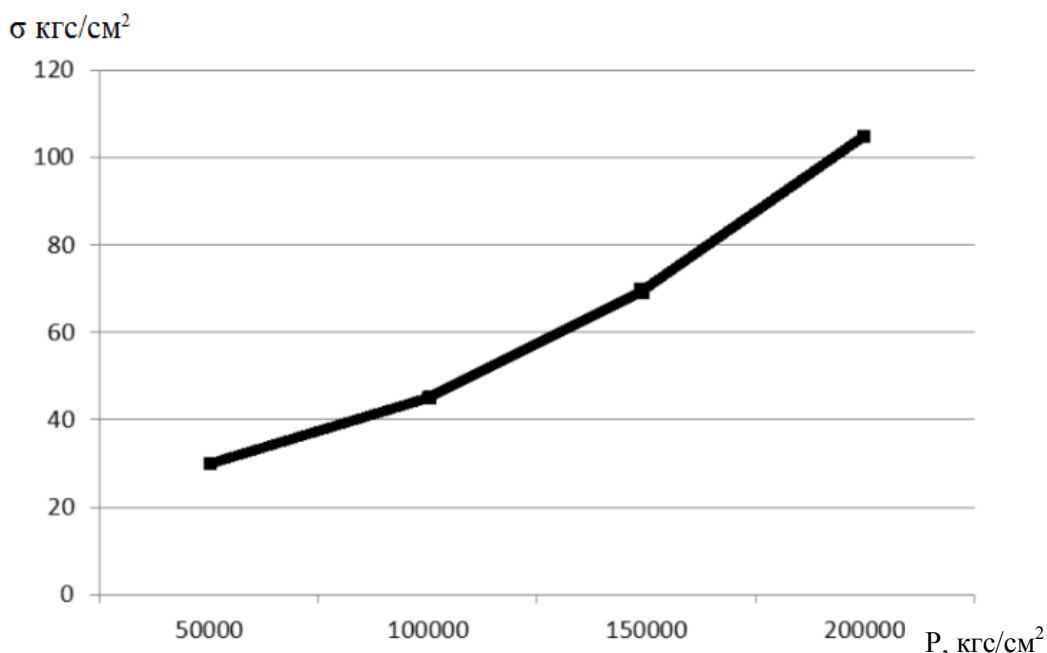


Рис. 6. Зависимость прочности образцов магнетита на сжатие от давления его прессования

Выводы. Проведенные исследования влияния времени помола на изменения фракционного состава частиц магнетита говорит о целесообразности его проведения в течение не более 90 минут. При повышении давления прессования на образцы магнетита до 200000 кгс/см² наблюдается тенденция роста его плотности

прочности на сжатие, что говорит о более компактной упаковке структуры образцов гематита.

**Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания Министерства образования и науки РФ №130.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Потапов Ю.Б., Эффективные строительные композиты и конструкции на их основе с комплексом заданных свойств. Промышленное и гражданское строительство. 2010. №9. С. 9–11.
3. Лаптев Г.А., Потапов Ю.Б., Ерофеев В.Т. Разработка технологии изготовления металлбетон // Строительство и реконструкция. 2015. № 1 (57). С. 123–129.
4. 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.Г. Шухова. 2015. С. 491–499.
5. Болдырев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г. Ресурсосберегающие технологии получения металлбетонных строительных композитов // Известия вузов. Строительство. 2002. №4. С. 38–43.
6. Королев Е.В. Серные композиционные материалы специального назначения // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 99–106.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. №10. С. 85–86.
13. Матюхин П.В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. №9. С. 35–39.
14. Kasagi T., Suenaga S., Tsutaoka T., Hatakeyama K. High frequency permeability of ferromagnetic metal composite materials. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. T. 310. №2 SUPPL. PART 3.P. 2566–2568.
15. Belomytsev M.Yu., Kozlov D.A. Stability of composite materials nail-refractory metal with cellular structure. MetalScienceandHeatTreatment. 2006. T. 48. № 5–6. P. 255–260.
16. 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. T. 654–656. P. 1852–1855.
17. Матюхин П.В. Радиационно-защитный конструкционный композиционный материал // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. №9 (28). С. 40–41.
18. Болдырев А.М., Орлов А.С., Рубцова Е.Г., Особенности создания композиционных строительных материалов с металлическими матрицами (металлбетон). // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 5–11.

Matyuhin P.V., Yastrebinsky R.N., Shirokov A.V.

**BASIC PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS
OF MAGNETITE SUBJECTED TO HIGH COMPRESSION PRESSURE**

This article describes the basic physical and mechanical properties of magnetite subjected to high compression pressures; Techniques by which carried out the research. The data time magnetite grinding effect on the average variation of the particle diameter and the average specific surface area. The data of the study of the impact of high compression pressures on the density and on the basic strength properties of the material. This material may be filled in the development of new types of radiation-shielding materials for construction application.

Key words: *magnetite, particle dispersion, the properties of physico-mechanical, impact dispersion, compressive strength, density, 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

Ястребинский Роман Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент 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

Широков Алексей Владиславович, магистрант кафедры теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

E-mail: led777007@gmail.com