

УДК 544.971.266.017662.2.035

АБРАЗИВНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИЗНОСОСТОЙКОЙ И МАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИМИ

© 2021 г. М. В. Михеев¹, * , А. В. Болоцкая¹, А. М. Столин¹, П. М. Бажин¹

¹Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова
Российской академии наук, ул. Академика Осипьяна, 8, Московская обл., Черноголовка, 142432 Россия

*e-mail: mixeev777@rambler.ru

Поступила в редакцию 16.03.2021 г.

После доработки 27.05.2021 г.

Принята к публикации 27.05.2021 г.

Получены порошковые материалы на основе TiC–Fe методом СВС-измельчения. Показано, что, меняя тип деформирующего устройства (конус, фреза), можно варьировать размер частиц порошка, их форму, а также повысить долю частиц более мелкой фракции. Представлены результаты анализа структуры поверхности и фазового состава полученных порошковых материалов, распределение порошковых частиц по фракциям в зависимости от используемого деформирующего устройства.

Ключевые слова: ферроабразивный порошок, СВС-измельчение, сдвиговое деформирование, синтез в режиме горения

DOI: 10.31857/S0002337X21100080

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологии магнитно-абразивной обработки характеризуется поиском новых методов получения и путей совершенствования структуры и эксплуатационных свойств материалов. Одним из таких методов может стать энергоэффективный метод СВС-измельчения, сочетающий синтез в режиме горения с высокотемпературным сдвиговым деформированием продуктов синтеза в одну технологическую стадию, при этом измельчение до порошкового состояния происходит в горячем пластичном состоянии. При деформировании синтезированный материал претерпевает сильные структурные изменения, измельчается, повышаются его твердость и прочность. Преимущества выбранного метода заключаются в возможности варьировать технологические параметры (интенсивность деформирования, время воздействия, тип деформирующего устройства), которые оказывают существенное влияние на структурообразование материала, размер зерен, гранулометрический состав и морфологию [1–3].

Цель настоящей работы – создание абразивных порошковых материалов с износостойкой и магнитной составляющими энергоэффективным методом СВС-измельчения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

На сегодняшний день в мире наблюдается тенденция к увеличению энергоэффективности про-

цессов на производстве, в частности, для изготовления деталей (точечное литье и штамповка). Однако поверхность получаемых деталей не всегда соответствует высоким требованиям по степени чистоты [4–6]. Механическая обработка функциональных поверхностей деталей определяет их эксплуатационные свойства, работоспособность и надежность, в связи с чем все большее внимание уделяется малоотходным процессам обработки деталей, в том числе отделочным операциям (шлифование, полирование, доводка) [7, 8]. Для получения высокой чистоты поверхности простых и сложно-профильных деталей широкое распространение получил метод магнитно-абразивной финишной обработки (МАФО). Данный метод основывается на применении магнитно-абразивных порошковых материалов, играющих роль режущего инструмента в процессе обработки детали. Такие материалы одновременно обладают и магнитными, и абразивными свойствами [9–12].

Эффективность МАФО деталей напрямую зависит от качества применяемых порошковых материалов. Порошковые магнитно-абразивные материалы классифицируются по характеру расположения абразивной составляющей в структуре отдельных частиц. Наиболее благоприятным считается расположение более мелких частиц абразивной составляющей по всей поверхности магнитной частицы, т.е. ее полное обволакивание [13]. Важными эксплуатационными характе-

Таблица 1. Характеристики исходных порошковых компонентов

Компонент	Содержание, мас. %	Марка порошка	Содержание основного вещества не менее, мас. %	Размер частиц основной фракции, мкм
Ti	56	ПТОМ-1	98.8	45
C	14	ПМ-15ТС	99.1	1
Fe	30	P-10	97	25

ристикой магнитно-абразивных материалов являются форма частиц, микротвердость абразивной составляющей, химическая активность к обрабатываемому материалу.

В настоящее время для изготовления магнитно-абразивных материалов используют методы порошковой металлургии, реже – распыление из жидкой фазы. Одним из распространенных методов порошковой металлургии является механоактивация смеси порошков железа с абразивной составляющей. Механоактивация смеси оксидов железа с инертной добавкой алюминия проводится в планетарной мельнице с водяным охлаждением в течение 30–60 мин в различных средах (воздух, аргон). Таким способом получают ультрадисперсные композиты. Для обеспечения необходимых магнитных свойств композитов проводится дальнейшая их активация с дополнительным железом до достижения общего содержания железа ~50 об. % [14, 15].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе исследовались порошковые смеси Ti + C + Fe. Состав смеси подбирался из расчета получения конечных продуктов после синтеза в соотношении 70 мас. % TiC + 30 мас. % Fe. Состав и характеристики порошков, используемых в работе, представлены в табл. 1.

Первоначальным этапом работы являлось приготовление шихтовых смесей выбранных составов. Для этого предварительно выдержанные в сушильном шкафу порошковые компоненты просеивались через сито и дозировались на электронных весах CAS MWP-300 согласно расчетам. После взвешивания порошки и размольные шары помещались в барабан шаровой мельницы при соотношении 1 : 3.5 соответственно. В течение 4 ч при атмосферном давлении и комнатной температуре порошки смешивались, частота вращения барабана составляла 0.56 об./с. По завершении процесса смешения шихта просеивалась через сито и помещалась в сушильный шкаф для удаления остаточной влажности.

Эксперименты по СВС-измельчению проводились с использованием заранее спрессованных цилиндрических шихтовых заготовок. Для прессования шихтовых заготовок применялась гид-

равлическая машина сжатия с регулируемым уровнем давления прессования для обеспечения оптимальной относительной плотности. Прессование проводилось в металлической пресс-форме. Масса засыпаемой шихты составляла 20 г, диаметр заготовок равен 25 мм при относительной плотности 0.6 от плотности компакта. Для лучшей теплоизоляции во время синтеза шихтовые заготовки оборачивались асбестовой тканью толщиной 2 мм, верхний и нижний торцы оставались без теплоизоляции.

Установка СВС-измельчения с реактором смещения закрытого типа, схема которой представлена на рис. 1а, состоит из стального стакана с отверстием для подвода вольфрамовой проволоки, соединенной с лабораторным трансформатором и сверлильным станком с регулируемым количеством оборотов. К станку прикрепляется деформирующее устройство, находящееся над помещаемой в стакан шихтовой заготовкой. В качестве деформирующего устройства выступает ротор в виде конуса или фрезы (рис. 1б), приводимый в движение сверлильным станком. Иницирование реакции синтеза происходит вольфрамовой спиралью. Сразу после прохождения фронта горения в режиме СВС вращающийся ротор опускается на горячий и еще поддающийся пластической деформации образец. Время нахождения образца под давлением вращающегося ротора составляло 30 с.

Фазовый состав образцов определяли с использованием дифрактометра ДРОН-3М. Анализ микроструктуры и морфологии полученных материалов проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) LEO 1450 VP Carl Zeiss. Для определения гранулометрического состава полученные порошки просеивали через набор сит с различными размерами ячеек (500, 400, 160, 50 мкм).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных серий экспериментов с использованием в качестве деформирующих устройств конуса и фрезы были получены порошковые материалы исследуемого состава. Рентгенофазовый анализ показал, что порошковый материал независимо от используемого деформиру-

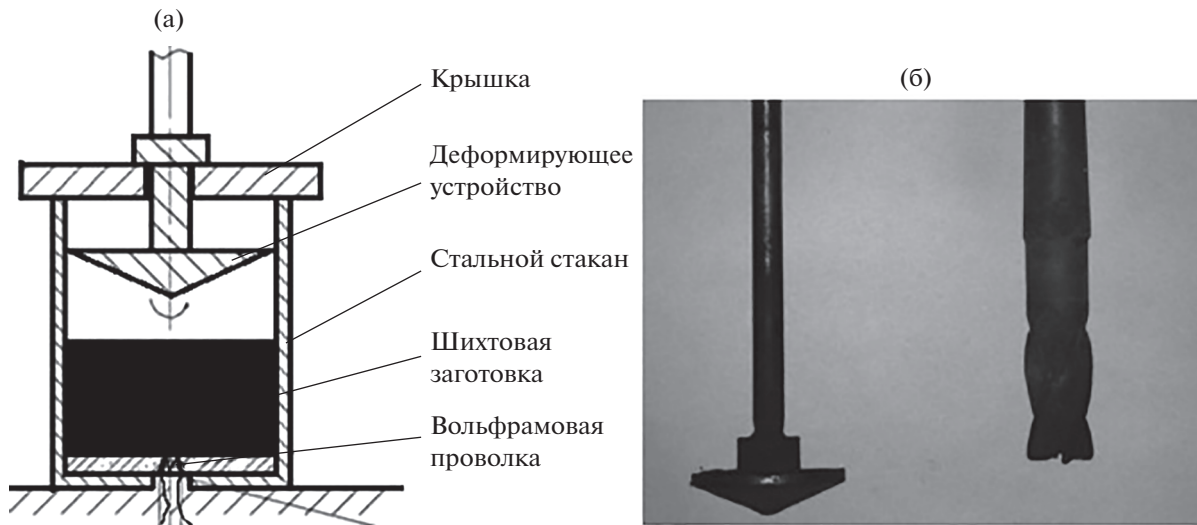


Рис. 1. Схема установки СВС-измельчения с реактором закрытого типа (а), внешний вид деформирующих устройств (б).

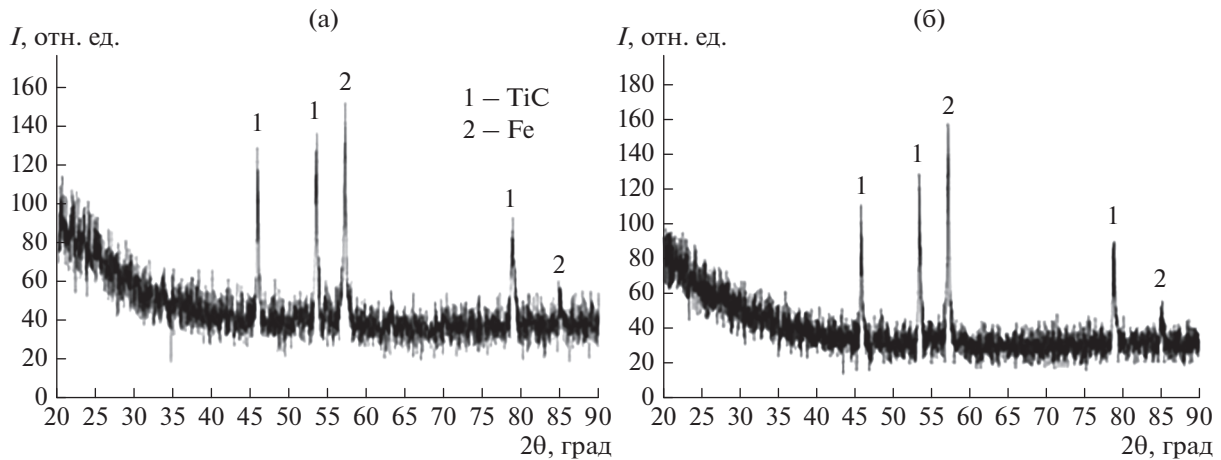


Рис. 2. Дифрактограммы порошков, полученных с использованием деформирующего устройства в виде конуса (а) и фрезы (б).

ющего устройства состоит из двух фаз: карбида титана и железа (рис. 2).

На рис. 3 представлен характерный вид поверхности порошка, полученного в ходе СВС-измельчения с использованием деформирующего устройства в виде конуса. Установлено, что синтезированный порошок представляет собой агломераты мелких частиц (1–5 мкм) карбида титана и частиц железа. Частицы порошка преимущественно имеют неправильную скругленную форму.

На рис. 4 представлен характерный вид поверхности порошка, полученного в ходе СВС-измельчения с использованием деформирующего устройства в виде фрезы. Установлено, что морфология порошкового материала сильно отличается от морфологии порошков, полученных с по-

мощью ротора в виде конуса. Форма частиц становится оскольчатой. Предполагается, что это связано в первую очередь с повышением интенсивности деформации при использовании фрезы. Это объясняется тем, что в ходе процесса СВС-измельчения происходит более интенсивный размол и перемешивание неостывших продуктов синтеза, состоящих из частиц карбида титана и железа. Как показывают результаты СЭМ, представленные на рис. 3 и 4, тип деформирующего устройства оказывает сильное влияние на морфологию частиц к продукта.

При воздействии магнитным полем от постоянного магнита все частицы выстраивались вдоль линий намагниченности, что свидетельствует о

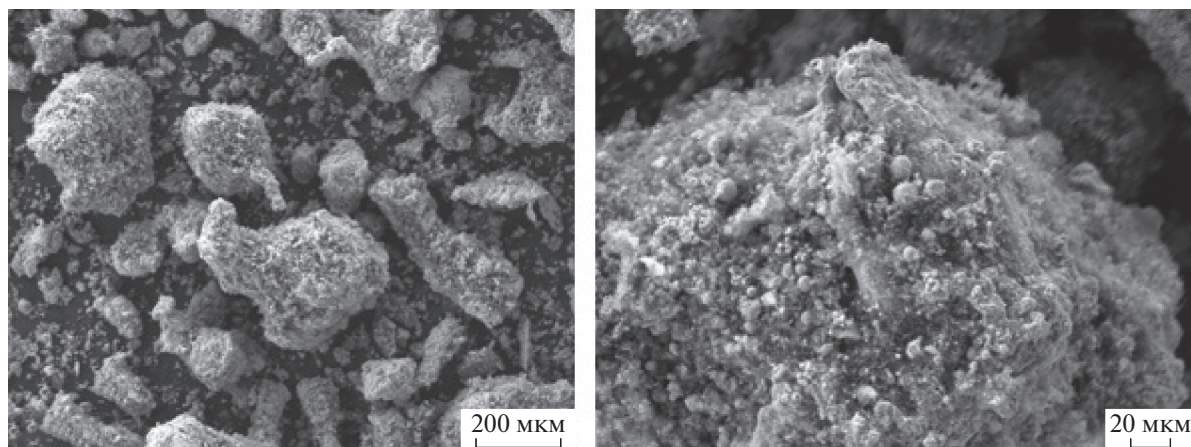


Рис. 3. Морфология и структура поверхности частиц порошка при использовании конуса.

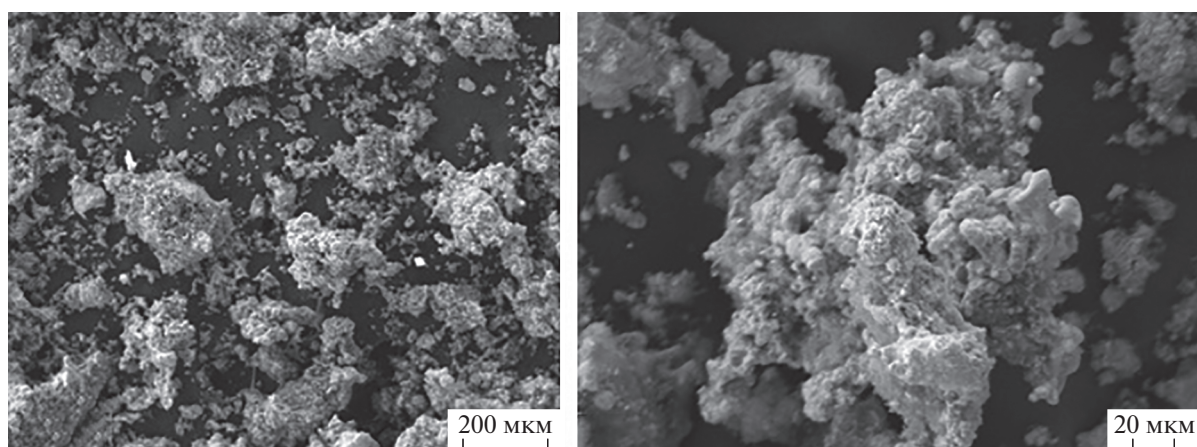


Рис. 4. Морфология и структура поверхности частиц порошка при использовании фрезы.

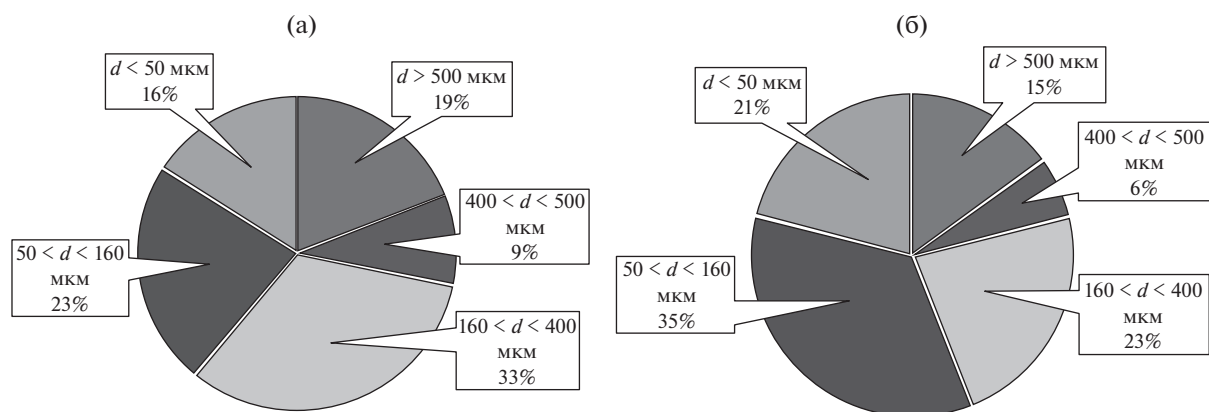


Рис. 5. Распределение частиц порошка по фракциям при использовании конуса (а) и фрезы (б).

ферромагнитной природе полученного порошкового материала.

В ходе проведения экспериментов по СВЧ-измельчению было замечено, что 30 мас. % заготов-

ки составлял неизмельченный спек синтезированного материала, находящийся снизу, в месте контакта заготовки и реактора. Это связано с тем, что инициирование реакции горения происходит с нижнего торца заготовки и, пока фронт горения

доходит до противоположного конца, его нижняя часть успевает остыть, а расплавленное железо закристаллизоваться; второй причиной является повышенный теплоотвод в месте контакта заготовки и дна реактора. По мере разогрева реактора от теплоты, выделяемой при синтезе заготовок, количество неизмельченного спека уменьшается и составляет 10–15%. На рис. 5 представлены гистограммы распределения частиц измельченных порошков по фракциям в зависимости от применяемого деформирующего устройства: конуса (рис. 5а) или фрезы (рис. 5б).

Как можно заметить, при использовании ротора в виде конуса основная фракция порошкового материала (33 мас. %) приходится на размер частиц от 160 до 400 мкм, затем следует фракция (23 мас. %) частиц размером от 50 до 160 мкм. На долю частиц размером менее 50 мкм приходится 16 мас. %. При использовании деформирующего устройства в виде фрезы основной фракцией (35 мас. %) являются частицы размером от 50 до 160 мкм, при этом доля частиц менее 50 мкм увеличивается до 21 мас. %. Из полученных данных можно сделать вывод, что тип используемого деформирующего устройства влияет на гранулометрический состав получаемого порошкового материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате СВС-измельчения были получены порошковые материалы на основе карбида титана с 30 мас. % железной составляющей. Полученные материалы обладали ферромагнитными свойствами.

Показано, что в зависимости от используемого деформирующего устройства (конуса или фрезы) изменяется гранулометрический состав и морфология получаемых порошковых материалов. При использовании конуса основная фракция порошкового материала (33%) приходится на размер частиц от 160 до 400 мкм, затем следует фракция (23%) частиц размером от 50 до 160 мкм. На долю частиц размером менее 50 мкм приходится 16%. Преимущественно частицы порошка обладали неправильной скругленной формой. При использовании деформирующего устройства в виде фрезы основной фракцией (35%) являются частицы размером от 50 до 160 мкм, при этом доля частиц менее 50 мкм увеличивается до 21%. В случае использования фрезы в полученных порошковых материалах преобладала доля частиц осколькой формы.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование полученных порошковых материалов проводилось с использованием оборудования Рас-

пределительного центра коллективного пользования ИСМАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бажин П.М., Столин А.М., Михеев М.В., Ковалев И.Д.* Синтез порошкового материала на основе MoSi_2 в условиях воздействия давления со сдвигом // Новые огнеупоры. 2018. №. 10. С. 65–67. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2018-10-65-67>
2. *Бажин П.М., Столин А.М., Михеев М.В., Алымов М.И.* Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в условиях совместного действия давления со сдвигом // Докл. Академии наук. 2017. Т. 473. № 5. С. 568–571.
3. *Михеев М.В.* Самораспространяющийся высокотемпературный синтез материалов на основе дисилицида молибдена в условиях давления со сдвигом: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.17.Черноголовка. 2018. 141 с.
4. *Shulga G.I., Kolesnichenko A.O., Scherbakov I.N., Lebedinsky I.Y.* Forming Surface Quality During Deep Extraction of Products from Sheet Steels under Conditions of Combined Mechanical-Physical-Chemical Exposure // AIP Conf. Proc. 2019. V. 2188. № 1. P. 020018. <https://doi.org/10.1063/1.5138392>
5. *Asnafi N., Alveflo A.* 3D Metal Printing of Stamping Tools & Dies and Injection Molds // The 11th Tooling Conference and Exhibition (TOOLING 2019). Aachen. (May 12–16). 2019.
6. *Кубанова А.Н., Сергеев А.Н., Добровольский Н.М., Гвоздев А.Е., Медведев П.Н., Малий Д.В.* Особенности материалов и технологий аддитивного производства изделий // Чебышевский сборник. 2019. Т. 20. № 3(71). <https://doi.org/10.22405/226-8383-2019-20-3-453-477>
7. *Иноземцев В.Е., Крукович М.Г.* Обеспечение качества поверхности металлических изделий при комплексных методах обработки // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. 2018. № 7(68).
8. *Kim U.S., Park J.W.* High-Quality Surface Finishing of Industrial Three-Dimensional Metal Additive Manufacturing Using Electrochemical Polishing // Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol. 2019. V. 6. № 1. P. 11–21. <https://doi.org/10.1007/s40684-019-00019-2>
9. *Singh P., Singh L., Singh S.* Manufacturing and Performance Analysis of Mechanically Alloyed Magnetic Abrasives for Magneto Abrasive Flow Finishing // J. Manuf. Processes. 2020. V. 50. P. 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.12.033>
10. *Акулович Л.М.* Ферроабразивные порошки для магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей. Минск: БГАТУ, 2015. 284 с.
11. *Gao Y., Zhao Y., Zhang G., Zhang G., Yin F.* Polishing of Paramagnetic Materials Using Atomized Magnetic Abrasive Powder // Mater. Manuf. Processes. 2019. V. 34. № 6. P. 604–611. <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1532087>

12. *Майборода В.С., Слободянюк И.В., Джулий Д.Ю.* Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы. Житомир: "Рута", 2017. 272 с.
13. *Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Лебедев В.Я.* Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей. Минск: БГАТУ, 2012. 316 с.
14. *Kovaliova S., Sepelak V., Grigoreva T., Zhornik V., Kiseleva T., Khomich M., Lyakhov N.* Mechano-synthesis of Composites in Chemically Non-reacting and Exothermically Reacting Systems for Magnetic Abrasive Media // *J. Mater. Sci.* 2018. V. 53. № 19. P. 13560–13572.
<https://doi.org/10.1007/s10853-018-2463-5>
15. *Григорьева Т.Ф., Киселева Т.Ю., Ковалева С.А., Ворсина И.А., Анчаров А.И., Восмерилов С.В., Ляхов Н.З.* Получение композитов железо/ α -оксид алюминия для приготовления магнитно-абразивных материалов // *Упорядочение в минералах и сплавах.* 2016. С. 75–78.