

УДК 621.7.011

DOI: 10.30987/2223-4608-2021-9-3-7

Д.В. Костин, аспирант, **А.П. Амосов**, д.ф.-м.н., **А.Р. Самборук**, д.т.н.
(ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244),

Б.Д. Чернышев, инженер 1 категории, **А.В. Камынин**, главный конструктор
(АО «Спецмагнит», Россия, г. Москва, Дмитровское шоссе, 58)

E-mail: deman777_91@mail.ru

Влияние способа получения металлических порошков на микроструктуру и текучесть гранулята магнитотвердого сплава

Проведено сравнение характеристик металлических порошков магнитотвердого сплава, произведенных различными методами. Приведены сравнительные исследования морфологии частиц и гранулометрического состава порошков.

Ключевые слова: магнитотвердые материалы; постоянные магниты; гранулят; шихта; МИМ-технология; металлические порошки; газовая атомизация.

D.V. Kostin, Post graduate student, **A.P. Amosov**, Dr. Sc. Physical-Math.,
A.R. Samboruk, Dr. Sc. Tech.

(Samara State Technical University, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100,)

B.D. Chernyshev, engineer of the 1st category, **A.V. Kamynin**, chief designer
(JSC Spetsmagnit, 58, Dmitrovskoe-Shosse, Moscow, Russia)

Influence of the method to obtain metal powders on the microstructure and yield of the hard-magnetic alloy granulate

The characteristics of metal powders of a hard-magnetic alloy produced by various methods are compared. Comparative studies of particles morphology and grain size composition of powders are presented.

Keywords: hard-magnetic material; permanent magnet; granulate; charge; metal injection molding; metal powders; gas atomization.

Магнитотвердые материалы (МТМ) – это сплавы, которые обладают высокой коэрцитивной силой, в частности сплавы на основе систем Fe-Cr-Co; Sm-Co и Nd-Fe-B. Данные материалы имеют высокую остаточную намагниченность, и их основное назначение – это получение постоянных магнитов. Постоянные магниты являются основными элементами различных электротехнических приборов. Этим обусловлена специфика потребления постоянных магнитов разнообразной геометрической формы: диски; кольца; призмы и т.д. Объем производства партий постоянных магнитов составляет от десятков штук до нес-

кольких сотен в месяц.

Metal Injection Molding или МИМ-Technology (МИМ-технология) – это технология инъекционного формования металлических порошков с расплавами полимеров. МИМ-технология – это совокупность методов порошковой металлургии и литья полимерных материалов под давлением. В изделиях, изготовленных при помощи МИМ-технологии, сочетаются точность и сложность геометрической формы, как у полимерных изделий, с прочностными характеристиками металла [1].

Использование МИМ-технологии для производства постоянных магнитов практически

безотходно, что позволяет экономить дорогостоящее исходное сырье и отказаться от дополнительной механической обработки готовых изделий. Но для успешного производства постоянных магнитов необходим качественный исходный материал – гранулят, состоящий из металлических порошков и полимерного связующего. Качество гранулята зависит от исходных металлических порошков. МИМ-технология уделяет особое внимание морфологии и гранулометрическому составу металлических порошков, размер частиц которых должен находиться в диапазоне 4...20 мкм. Морфология порошков должна соответствовать сферической равноосной структуре, быть однородной без инородных примесей и агломераций. Более детальные требования к металлическим порошкам для МИМ-технологии представлены в работе [1].

Цель данной работы заключается в сравнении характеристик отечественных порошков промышленного производства, полученных различными методами и порошков опытного производства, полученных газовой атомизацией для последующего использования в шихте разрабатываемого гранулята магнитотвердого материала для изготовления постоянных магнитов методом МИМ-технологии.

На первоначальном этапе исследованиям подверглись порошки для шихты магнитотвердого сплава (карбонильное железо марки ВМ; кобальт ПК-1; хром ПХ-1М; порошок ферросилиций ФС-75; порошок ПТФ (Ti73%V27%)), полученные различными методами. Карбонильное железо получают путем термического разложения пентакарбонила железа с последующим рафинированием в токе водорода; производство ферросилиция основано на восстановлении кремнезёма; порошок кобальта производится электрохимическим осаждением из водных растворов солей металлов с последующей сушкой и термообработкой в восстановительной среде; порошок хрома ПХ-1М изготавливают методом восстановления из оксида хрома; порошки титана получают восстановлением оксидов металлов гидридом кальция.

Выбор гидрида кальция в качестве восстановителя объясняется высокой активностью кальция, позволяющей восстанавливать практически все окислы металлов и неметаллов независимо от их термодинамической активности. При этом не образуются твердые растворы и химические соединения кальция с восстановленными металлами.

Исследования гранулометрического состава

порошков, полученных при промышленном производстве, производились на лазерном анализаторе размеров частиц «Analysette 22 Compact». Исследование микроструктуры исходных порошков производилось на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-6390A. Результаты исследований гранулометрического состава и микроструктуры порошков шихты магнитотвердого материала представлены на рис. 1.

Порошок ФС-75 представляет собой смесь крупных и мелких частиц неправильной оскольчатой формы, 50 % частиц имеют размер 20...40 мкм. Порошок ПТФ (Ti73%V27%) состоит из смеси крупных и мелких частиц неправильной формы с округлыми краями размером от 6 до 30 мкм. Порошок Fe ВМ представляет собой сферические частицы, 80 % частиц размером 2...10 мкм. Порошок ПК-1У представляет собой конгломераты иглообразных частиц, 70 % частиц размером 10...30 мкм. Порошок ПХ-1М представляет собой округлые частицы, 80 % частиц размером 10...30 мкм [2].

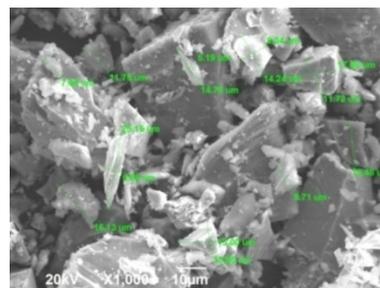
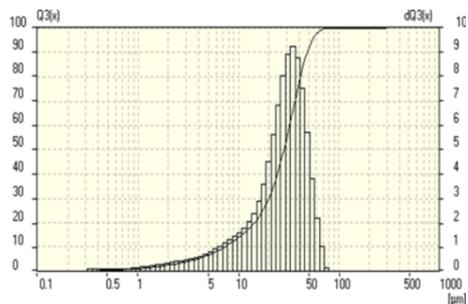
Из данных порошков была приготовлена шихта магнитотвердого сплава 22Х15КА для приготовления опытных партий гранулята. В качестве металлической части использовалась шихта исследуемых порошков содержанием 87...88 % масс. и полимерная часть на основе полиформальдегида 12...13 % масс. Микроструктура опытных партий гранулята магнитотвердого сплава из порошков, полученных различными методами представлена на рис. 2 [3].

Структура опытных партий гранулята неоднородна, имеет отдельные крупные частицы неправильной формы. Наблюдается большое количество агломераций более мелких частиц.

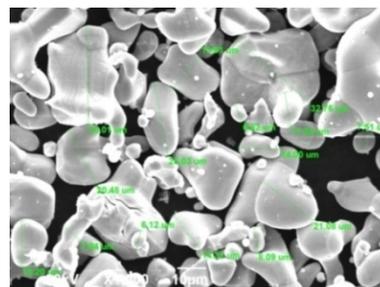
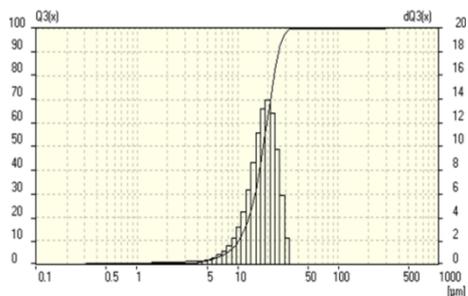
Показатель текучести расплава (ПТР) данных гранулятов находится в диапазоне 60...75 г/10 мин.

Из опытных партий гранулята магнитотвердого сплава 22Х15КА были изготовлены изделия простой формы в виде параллелепипеда, размер изделий 25x10x10 мм. Полученные изделия имеют поверхностные дефекты и отклонения от геометрических размеров и формы.

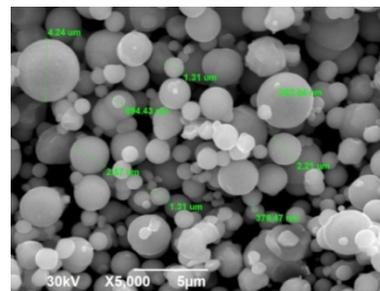
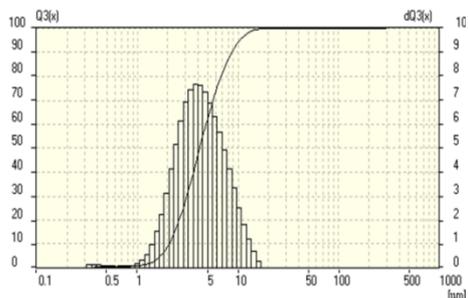
Таким образом, из порошков промышленного производства, полученных различными методами, не удалось получить качественные изделия по МИМ-технологии в виду их несоответствия по размеру частиц и их формы у порошков: ФС-75 и ПТФ (Ti73%, V27%) [4].



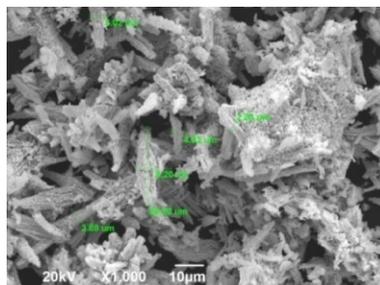
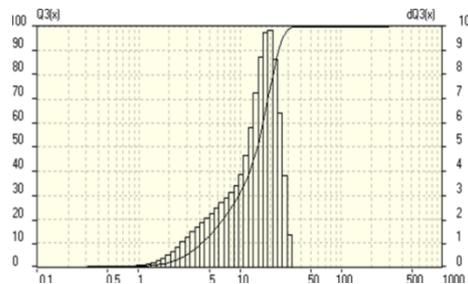
a)



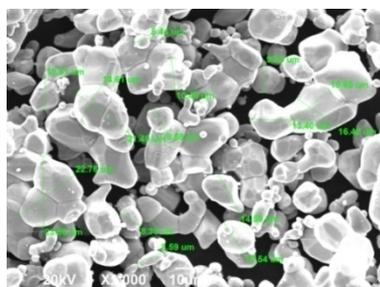
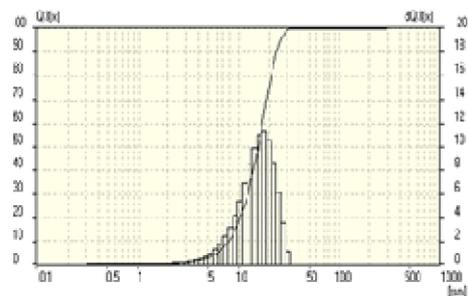
б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Результаты исследования гранулометрического состава и микроструктуры ($\times 1000$) порошков шихты магнитотвердого материала:

a – FC-75; б – ПТФ (Ti73%V27%); в – карбонильного железа марки ВМ; г – ПК-1У; д – ПХ-1М

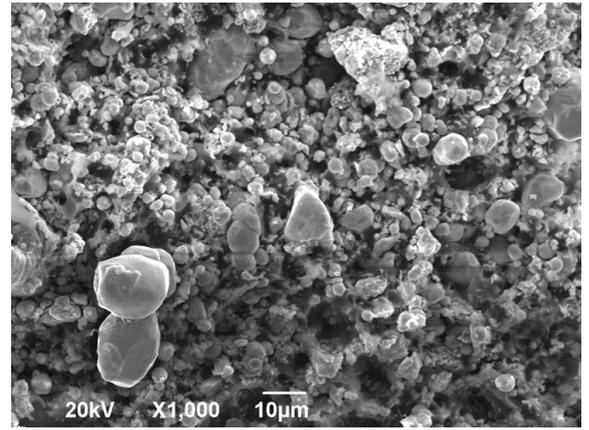
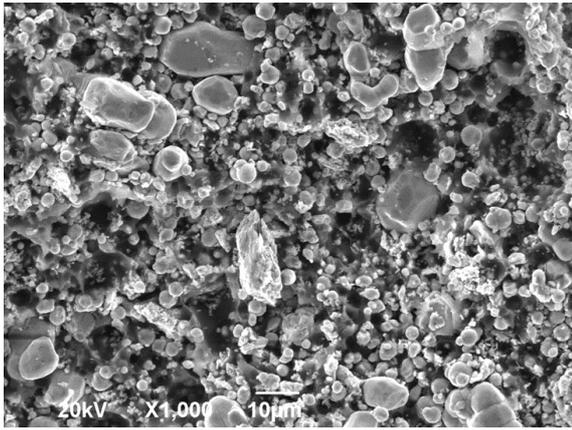


Рис. 2. Микроструктура опытных партий гранулята магнитотвердого сплава

Газовая атомизация используется для опытного производства порошков, применяемых в аддитивных технологиях. Аддитивные технологии предъявляют более строгие требования к порошкам для обеспечения процессов спекания и получения качественных изделий [4].

Согласно данной технологии металл расплавляют в плавильной камере (обычно в вакууме или инертной среде) и затем сливают в управляемом режиме через специальное устройство – распылитель, где производится разрушение потока жидкого металла струей инертного газа под давлением. Для получения мелких порошков ($d = 10 \dots 40$ мкм), наиболее часто применяемых в аддитивных техно-

логиях, используют так называемые VIM-атомайзеры (Vacuum Induction Melting), в которых плавильную камеру для минимизации контакта расплава с кислородом и азотом вакуумируют.

Исследование порошков, магнитотвердого сплава 25X15КА полученных методом газовой атомизации проводились специалистами АО «Спецмагнит». Подробные результаты исследований опытных порошков магнитотвердого сплава полученных газовой атомизацией приведены в работе [5].

Морфология частиц опытного порошка сплава 25X15КА полученного газовой атомизацией представлена на рис. 3.

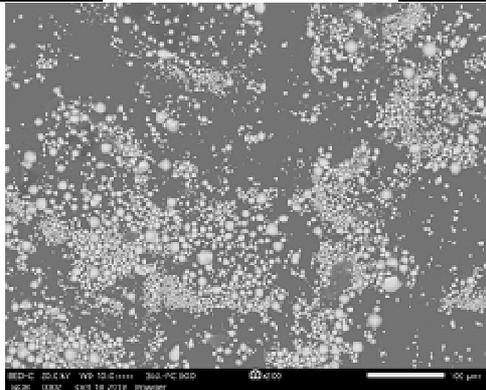
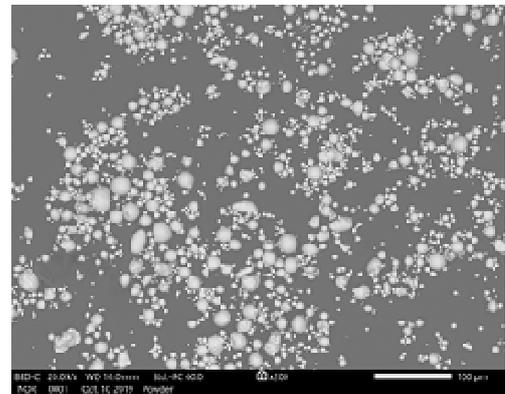
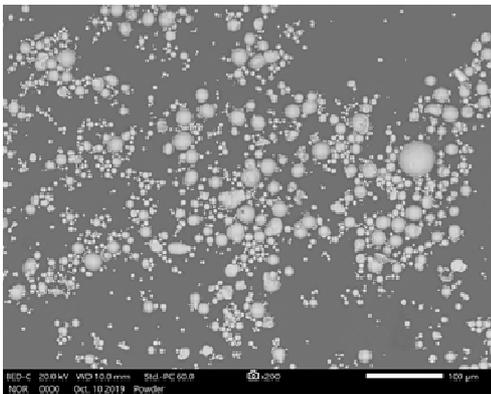


Рис. 3. Морфология частиц порошка сплава 25X15КА

