

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СТРАНЫ

УДК.621.3182

ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

Г.П. Станолевич, Н.В. Федосеев,
С.А. Тимаков, С.Л. Борисов

Рассмотрены вопросы получения порошков редкоземельных магнитных сплавов из соединений SmCo_5 и $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ методами металлотермии и непосредственным сплавлением исходных компонентов, с последующим их измельчением в мельницах различного типа. Порошки, полученные методом восстановления оксидов, имеют преимущественно неправильную форму, причём форма порошка в основном определяется формой исходного порошка кобальта. Частицы порошков представляют собой пористые конгломераты неопределённой формы с размерами частиц до 40 мкм. Порошки сплавов SmCo_5 и $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ – однофазны, сплавы $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ – двухфазны. Порошки сплавов, полученных сплавлением компонентов с последующим дроблением и измельчением, имеют осколочную форму и их строение, структура в основном зависят от типа, характера и интенсивности размола применяемого размольного оборудования. Измельчение истиранием в валковых и планетарных мельницах придаёт частицам более сферическую форму, чем при измельчении в вибрационной мельнице. Определены физические и технологические свойства порошков магнитных сплавов, полученных различными методами: форма и размеры порошков магнитных сплавов, их фазовый состав и структура, плотность, пористость, гранулометрический состав, содержание примесей, начальная плотность и плотность после утряски, магнитные свойства порошков, полученных в мельницах различного типа и их влияние на магнитные и прочностные свойства постоянных магнитов. Это позволило разработать технологию получения магнитов из сплавов SmCo_5 и $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ с высокими магнитными свойствами и высоким выходом продукта.

Ключевые слова: порошки, частицы, постоянные магниты, измельчение, плотность

В настоящее время технологическая схема получения редкоземельных постоянных магнитов (РЗМ) обычно включает следующие технологические операции: выплавку сплавов заданного технологического состава (strip-casting), струйное измельчение, прессование в магнитном поле, спекание и термообработку. Однако реализация данной технологической схемы выгодна лишь при масштабах производства более 1000 т магнитов в год.

Для магнитов специального назначения, работающих в специфических условиях высоких температур и влажности, более выгодны традиционные схемы получения постоянных магнитов, позволяющие быстро перестраиваться, для получения небольших партий специальных магнитов, с особыми свойствами [1]. Одним из путей снижения стоимости редкоземельных постоянных магнитов является метод металлотермии, т. е. восстановление оксидов редкоземельных металлов металлическим кальцием или его гидридом в присутствии порошков кобальта или его оксида. Этот способ более экономичен, так как технологическая схема производства постоянных магнитов исключает некоторые операции и способствует получению порошкообразных материалов, заданного фазового и гранулометрического состава с высокой воспроизводимостью результатов. Однако все технологические схемы в конечном счёте сводятся к процессу

получения магнитного порошка, от качества которого во многом зависит качество постоянных магнитов, которое в свою очередь зависит от способа его получения, крупности, гранулометрического состава и т. д. [2].

Сведения о физических и технологических свойствах порошков редкоземельных магнитных сплавов практически отсутствуют, также нет данных об их влиянии на качество постоянных магнитов. В связи с этим в работе были исследованы физические и технологические свойства порошков редкоземельных магнитных сплавов на основе соединений SmCo_5 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, полученных методами металлотермии и сплавления компонентов, а также различными способами измельчения сплавов в мельницах различного типа. В качестве исходных материалов использовались порошки полученные методом металлотермии по методике [3] и сплавы КС 37А, КС 25 по ГОСТ 21559-76. «Материалы магнитотвердые спеченные. Марки», полученные методом сплавления исходных компонентов.

Внутренняя структура частиц, их размеры, форма и плотность, наличие немагнитных включений определяют технологические характеристики порошков [4].

Металлографическое исследование, проведённое на сканирующем электронном микроскопе ISM – 35CF, при увеличениях до 12000 показав-

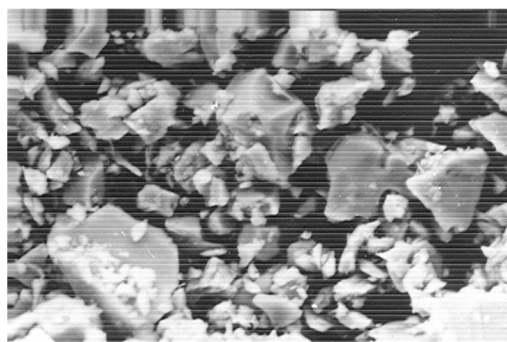
ло, что частицы, полученные методом восстановления оксидов РЗМ, имеют преимущественно неправильную форму (рис. 1). Причём форма порошка в основном определяется формой исходного порошка кобальта (рис. 1, б). Частицы порошков представляют собой пористые конгломераты неопределённой формы с размерами зёрен до 40 мкм (рис. 1, е). Пористость порошков составляет 75 – 82%. Такая высокая пористость объясняется испарением самария и кальция в процессе кальциетермического восстановления, а также частичным образованием гидридов при гидридно-кальциевом

восстановлении, которые диссоциируют при охлаждении на редкоземельный металл и водород, способствующий образованию микропор. (По данным химического анализа, содержание водорода в порошках, полученных гидридно-кальциевым методом, составляет 0,08 – 0,1 масс. % H_2 , в порошках, полученных металлотермией – 0,06 – 0,07 масс. % H_2).

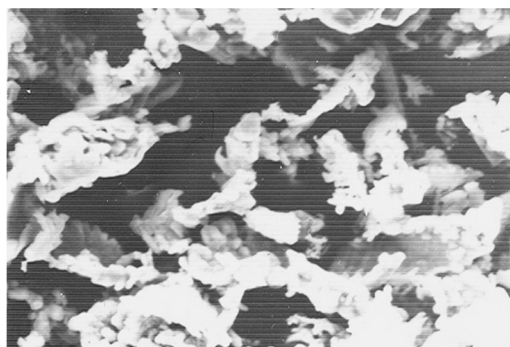
Высокая пористость порошков, полученных измельчением исходного сплава, объясняется малыми размерами частиц и их высокой конгломерацией, приводящими к низкой насыпной плотности.



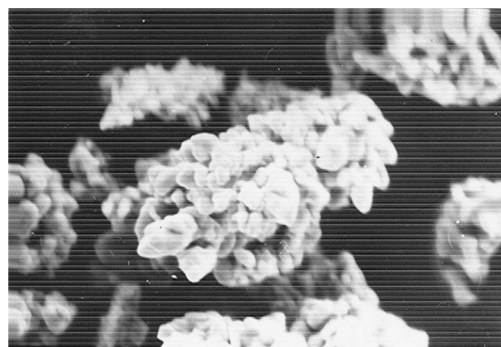
a



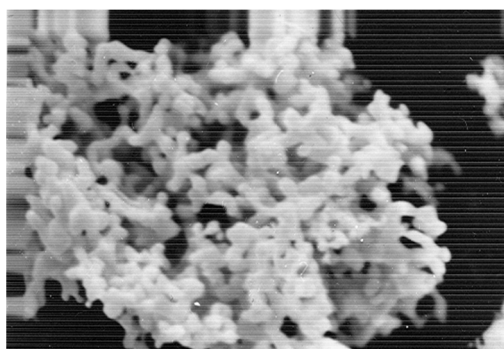
б



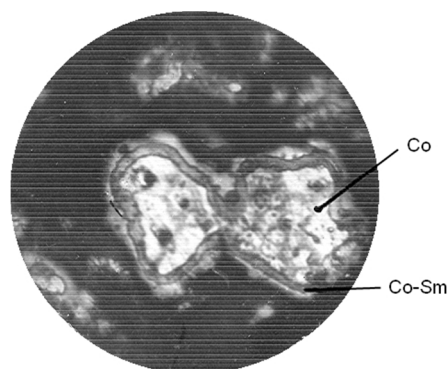
в



г



д



е

Рис. 1. Форма порошков редкоземельных магнитных сплавов: *a* – гидридно-кальциевый; *б* – кальциетермический; *в* – кобальт; *г* – медь; *д* – железо; *е* – шлиф гидридно-кальциевого порошка

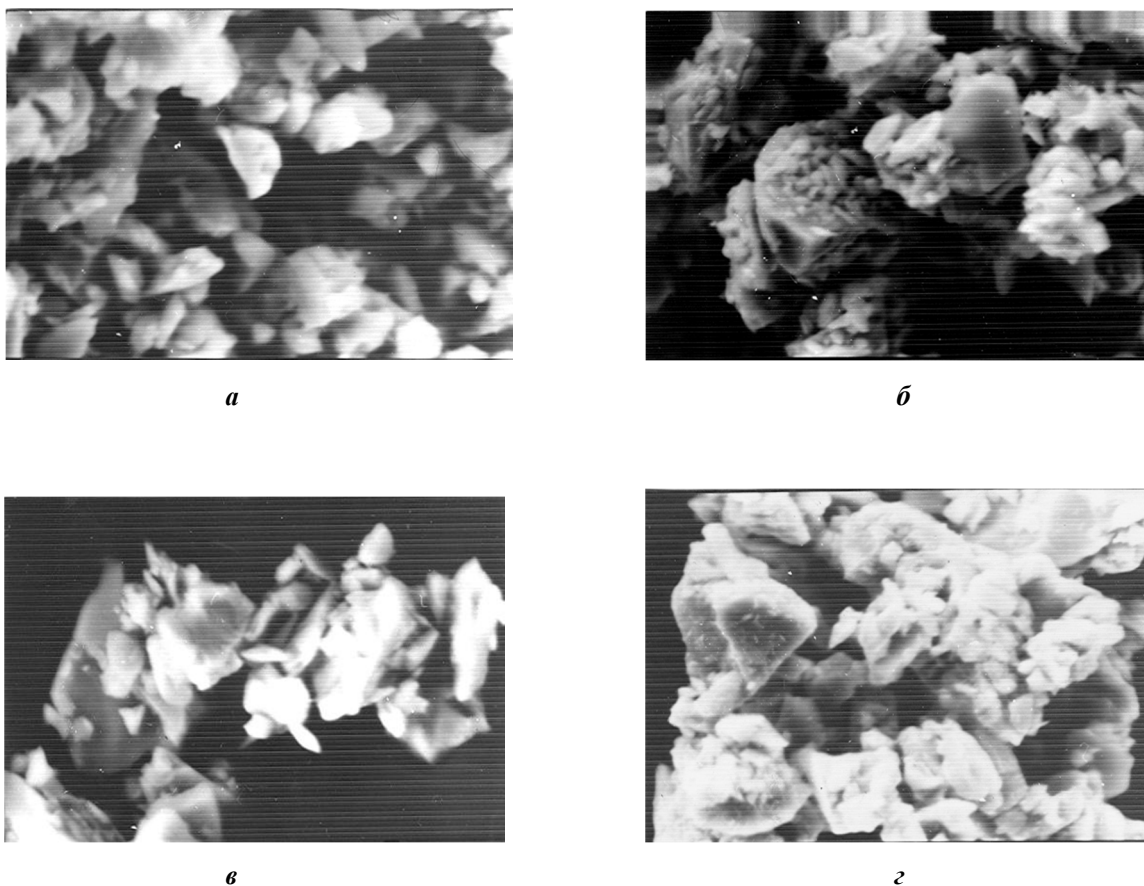


Рис. 2. Форма частиц порошков, полученных в мельницах различного типа:
***a* – валковой, типа МЛ-40; *б* – планетарной, типа М-44; *в* – планетарной, типа «Пульверизетте-5»;**
***г* – вибрационной, типа М-10**

По данным рентгено-структурного анализа, порошки сплавов SmCo_5 и $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ имеют однофазную структуру. Сплавы $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ – двухфазны. Исследования, проведённые на электронном сканирующем микроскопе ISM – Т 300 энергодисперсионным методом, показали в основном равномерное распределение элементов по сечению зерна. Некоторое отличие в равномерности распределения, наблюдаемое в отдельных случаях для гидридно-кальциевых порошков, когда центр зерна до 0,6 масс. % обогащён кобальтом, объясняется диффузионным характером металлотермического способа получения магнитных порошков, когда частицы металлического кобальта насыщаются редкоземельным металлом, получающимся в результате восстановления оксидов РЗМ металлическим кальцием (рис. 1, *е*).

Обеднение поверхностных слоёв самарием объясняется высокой упругостью его пара и поверхностным характером механизма испарения. Однако даже возможная небольшая структурная неоднородность не является браковочным признаком, так как в процессе высокотемпературного спекания процесс гомогенизации завершается. Порошки сплавов, получаемых сплавлением компонентов с последующим дроблением и измельчением, имеют осколочную форму и их строение, структура и форма поверхности в основном зависят от типа, характера и интенсивности размола применяемого размольного оборудования.

Измельчение истиранием в валковых и планетарных мельницах придаёт частицам порошка более сферическую форму (рис. 2 *а, б, в*), чем при измельчении в вибрационной мельнице, где порошки являются почти изотропными.

При ударном измельчении (виброразмол) создаётся режим усталостного разрушения [5], возникает большая пластическая деформация, приводящая к нарушению симметрии гексагональной решётки соединений RCO_5 и низкой коэрцитивной силе.

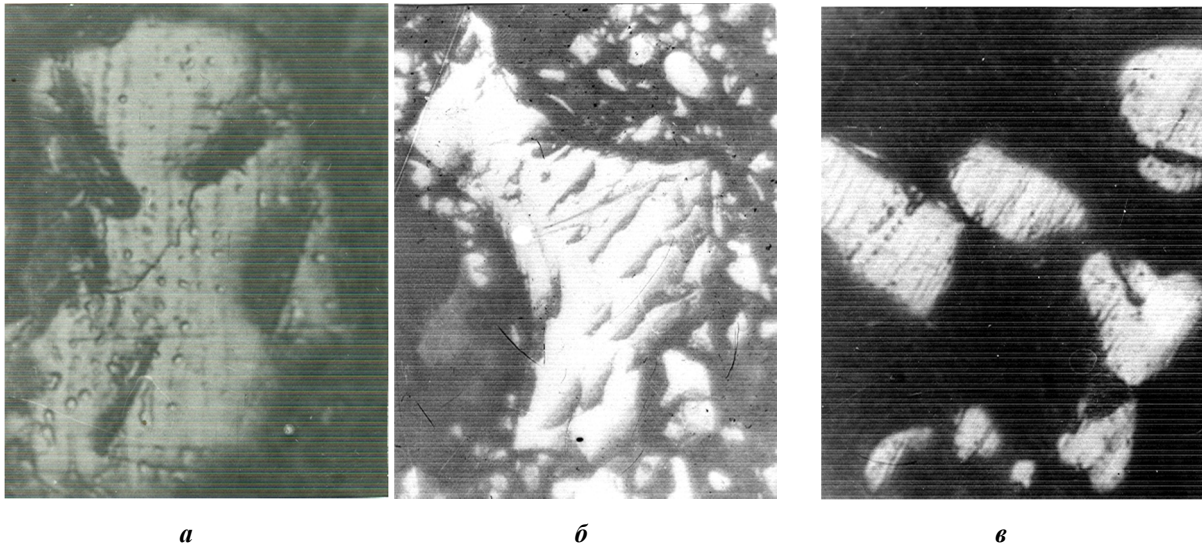


Рис. 3. Микроструктура порошков: *а* – гидридно-кальциевый метод; *б* – кальциетермический метод; *в* – измельчение в валковой мельнице

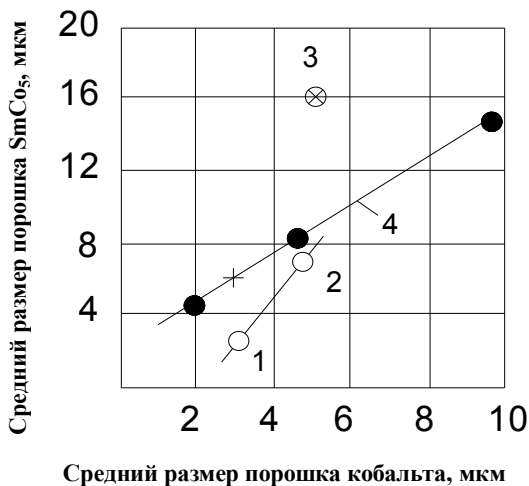


Рис. 4. Зависимость крупности восстановленных порошков от крупности порошка кобальта: 1 – восстановление Sm_2O_3 кальцием, кобальт-карбонильный; 2 – восстановление Sm_2O_3 кальцием, кобальт-электролитический; 3 – восстановление Sm_2O_3 гидридом кальция, кобальт-электролитический; 4 – по данным работы [6]

Измерение пикнометрической плотности порошков по ГОСТ 221 – 65 «Методы определения пикнометрической плотности» показало отрицательное отклонение пикнометрической плотности от расчётной (табл. 1).

Такое отличие пикнометрической плотности от расчётной, объясняют наличием в частицах микропор, микротрещин, микрощелей и полостей, образовавшихся в условиях восстановления, недоступных пикнометрической жидкости, а также присутствием небольших количеств недовосстановленных окислов.

Пикнометрическая плотность порошков, полученных металлотормией, оказалась выше плотности порошков, полученных измельчением исходного сплава. Это объясняется тем, что восстановленные порошки имеют большие размеры (рис. 3, *а*, *б*), что даёт возможность пикнометрической жидкости свободно проникать в них.

Крупность и гранулометрический состав порошков, получаемых металлотормией, зависит от крупности исходных порошков кобальта, температуры и продолжительности процесса восстановления – диффузии. На рис. 4 представлена зависимость крупности порошков, получаемых методом металлотормии от крупности исходного порошка кобальта (для сплава SmCo_5).

Как видно из полученных данных, чем крупнее исходный порошок кобальта, тем крупнее частицы порошка сплава.

Достоинством металлотормического способа получения порошков является возможность регулирования конечной крупности получаемых порошков. Так, добавки оксида кобальта в пределах 15 – 20% способствуют росту зерна (рис. 5) и снижению содержания кислорода до 0,2 масс. %.

Таблица 1

Физические и технологические свойства порошков

| № п/п | Состав | Метод получения | $d_{ср}$, мкм | Плотность, кг/м ³ | | | | Насыпная плотность | Относительный объём | Пористость, % | Магнитные свойства | | |
|-------|---|-------------------------------------|----------------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|---------------|---------------------|------------------------------------|------------|
| | | | | Пикнометрическая | Теоретическая | Относительная | После утряски | | | | σ_r/σ_s | σ_r , Гс·см ³ /Г | H_c , кЭ |
| 1 | Sm Co ₅ | Восстановление гидридом кальция | 16,57 | 8,41 | 8,58 | 1,85 | 4,16 | 0,220 | 4,54 | 78,0 | 0,93 | 78 | 1,6 |
| 2 | Sm Co ₅ | Восстановление кальцием | 7,05 | 8,20 | 8,58 | 1,56 | 3,96 | 0,190 | 5,26 | 81,0 | 0,94 | 78 | 3,8 |
| 3 | Sm _{0,5} Pr _{0,5} Co ₅ | Восстановление кальцием | 6,34 | 8,15 | 8,52 | 1,53 | 3,84 | 0,188 | 5,33 | 81,2 | 0,95 | 105 | 3,5 |
| 4 | Sm ₂ Me ₁₇ * | Восстановление кальцием | 6,81 | 8,04 | 8,33 | 1,51 | 3,87 | 0,188 | 5,32 | 81,2 | 0,75 | 80 | 1,7 |
| 5 | Sm Co ₅ | Измельчение в валковой мельнице | 3,67 | 7,97 | 8,58 | 1,20 | 3,33 | 0,151 | 6,64 | 84,9 | 0,99 | 102 | 9,0 |
| 6 | Sm Co ₅ | Измельчение в планетарной мельнице | 3,67 | 8,03 | 8,58 | 1,18 | 3,33 | 0,147 | 6,80 | 85,3 | 0,99 | 91 | 10,3 |
| 7 | Sm Co ₅ | Измельчение в вибрационной мельнице | 4,16 | 7,94 | 8,58 | 1,27 | 3,35 | 0,160 | 6,25 | 84,0 | 0,99 | 95 | 12,0 |
| 8 | Sm ₂ Me ₁₇ * | Измельчение в планетарной мельнице | 3,47 | 7,99 | 8,33 | 1,19 | 3,23 | 0,149 | 6,71 | 85,1 | 0,76 | 100 | 2,5 |

* – для состава Sm_{0,86}Zr_{0,14}(Co_{0,67}Cu_{0,09}Fe_{0,24})_{6,4}

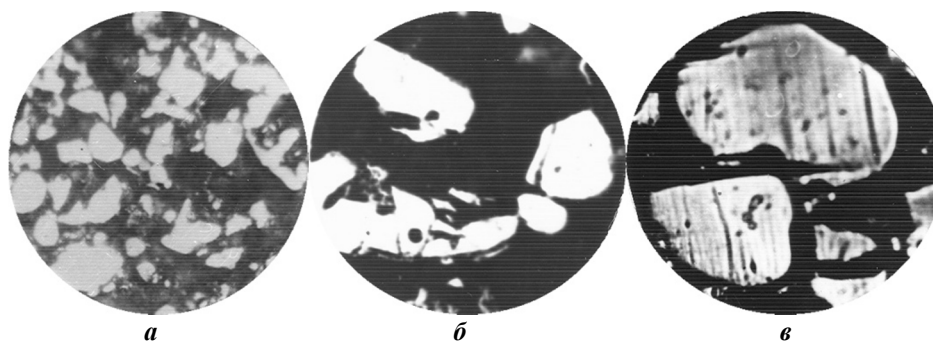


Рис. 5. Фотографии крупности частиц порошка сплава Sm_{0,5}Pr_{0,5}Co₅ при замене кобальта на его оксид × 785: а – без добавки CoO; б – 10% CoO; в – 30% CoO

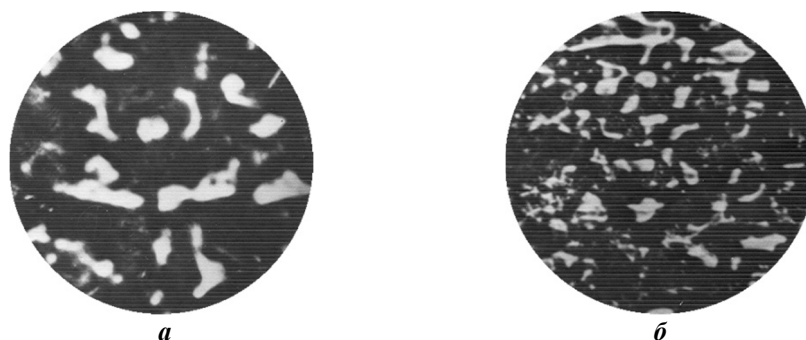


Рис. 6. Влияние добавки CaO в шихту на крупность порошка: а – 5% CaO; б – 10% CaO, ×785

Увеличение содержания в шихте оксида кобальта выше 30 масс. % приводит к расплавлению компонентов шихты и образованию корольков сплава. Добавки оксида кальция в количестве 5 – 10% препятствуют росту зерна и способствуют получению мелкодисперсных порошков (рис. 6).

Однако дальнейшее увеличение количества оксида кальция в шихте повышает содержание кальция в порошках до 0,22 масс. % и содержание кислорода до 0,35 – 0,45% масс. %. Повышенное содержание примесей снижает остаточную намагниченность сплавов.

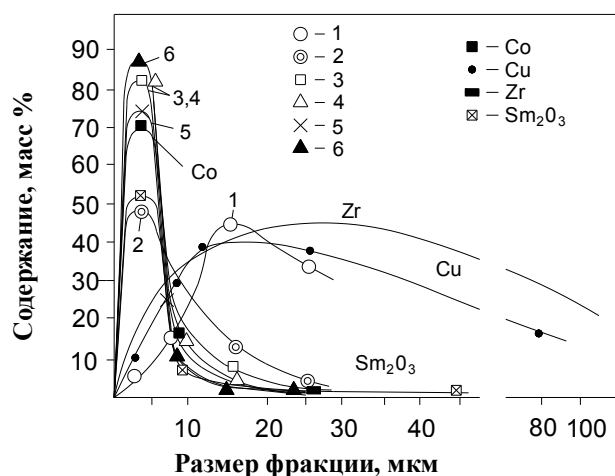


Рис. 7. Гранулометрический состав порошков исходных материалов и редкоземельных магнитных сплавов

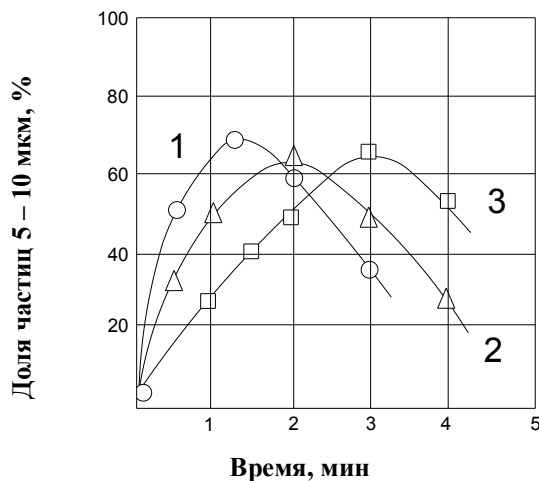


Рис. 8. Зависимость доли частиц 5 – 10 мкм от времени в порошке сплава: 1 – SmCo_5 ; 2 – $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$; 3 – $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$

На рис. 7 представлен гранулометрический состав порошков редкоземельных магнитных сплавов, полученных различными методами, и их исходных материалов:

1. Порошок SmCo_5 , полученный восстановлением оксида Sm гидридом Ca.
2. Порошок SmCo_5 , полученный восстановлением оксида Sm металлическим Ca.
3. Порошок SmCo_5 , полученный измельчением в валковой мельнице.
4. Порошок SmCo_5 , полученный измельчением в планетарной мельнице.
5. Порошок SmCo_5 , полученный измельчением в вибрационной мельнице.
6. Порошок $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, полученный измельчением в планетарной мельнице.

Как видно из полученных данных, порошки, полученные измельчением, независимо от типа мельницы, имеют необходимую крупность 5 – 10 мкм. Порошки, полученные методом металлотермии, особенно гидридно-кальциевым методом, не отвечают требованиям по крупности и требуют дополнительного доизмельчения. Этот недостаток может быть устранён применением в процессе металлотермии более мелких порошков исходных материалов, в частности карбонильного кобальта.

Аналогичные результаты получаются при снижении температуры и продолжительности процесса восстановления – диффузии. Гранулометрический состав порошков, получаемых измельчением исходного сплава, зависит от гранулометрического состава и крупности исходного дроблёного материала, продолжительности измельчения (рис. 8) и типа мельницы (табл. 2).

Как видно из полученных результатов, зависимость крупности частиц от продолжительности измельчения проходит через максимум, что объясняется переизмельчением материала.

Такое переизмельчение приводит к снижению коэрцитивной силы за счёт наклёпа частиц. Однако для магнитных порошков более важной характеристикой является не зависимость крупности и гранулометрического состава от продолжительности измельчения, а зависимость магнитных свойств от продолжительности измельчения, о чём речь пойдёт ниже.

Насыпную плотность порошков определяли по ГОСТ 19440-74 «Определение насыпной плотности», плотность после утряски по ГОСТ 20899-75 «Порошки металлические. Метод определения плотности после утряски». Относительные объём, плотность и пористость рассчитывали по ГОСТ 20899-75 «Порошки металлические. Метод определения текучести», ГОСТ 18898-89 «Изделия порошковые. Методы определения плотности, содержания масла и пористости». Полученные результаты сведены в табл. 1. Как видно из полученных данных, наибольшей насыпной плотностью и плотностью

после утряски обладают порошки, полученные гидридно-кальциевым методом, наименьшей – полученные измельчением сплавов в планетарной мельнице, что, очевидно связано с одной стороны, с хорошей сферичностью порошков, полученных методом металлотермии, а с другой, специфичностью порошков магнитных материалов, способных притягиваться друг к другу с образованием прочных конгломератов, не дающих возможности частицам порошка, перемещаясь относительно друг друга, заполнять пустоты. Причём, чем мельче порошок, тем способность к конгломерации выше.

Обращает на себя внимание отсутствие текучести у порошков редкоземельных магнитных сплавов, что также связано с конгломерированностью магнитных порошков в результате взаимного притяжения частичек. Это обстоятельство надо учитывать при разработке автоматического прессования на прессах-автоматах.

Известно, что высокие магнитные характеристики постоянных магнитов реализуются на порошках со средними размерами частиц 1 – 10 мкм. Поэтому в работе было исследовано влияние продолжительности измельчения на магнитные характеристики порошков.

Измельчение порошков проводили на планетарной мельнице М-44 с шестью помольными барабанами и воздушным охлаждением, в среде спирта.

По мере измельчения порошков сплавов типа SmCo_5 наблюдается увеличение коэрцитивной силы и остаточной намагниченности (рис. 9). Снять аналогичную зависимость для соединений типа $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ не удалось. Увеличение коэрцитивной силы связано с уменьшением размеров частиц и возникновением различного рода дефектов, действующих как центры закрепления доменных границ. Рост остаточной намагниченности σ_r объясняется ростом в порошке общего числа малых монокристаллических частиц,

которые после намагничивания до насыщения остаются однодоменными.

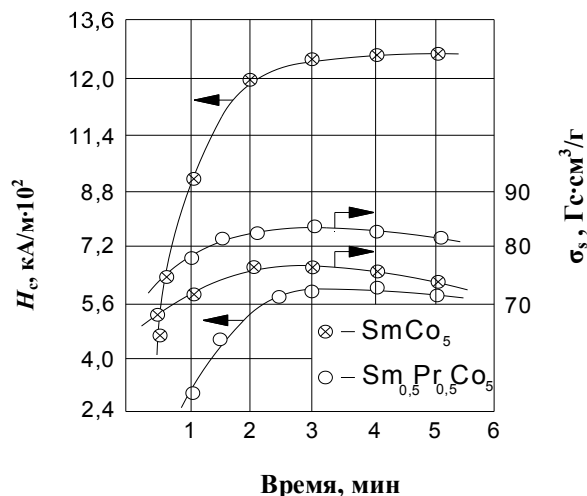


Рис. 9. Зависимость магнитных свойств порошков сплавов SmCo_5 (1) и $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ (2) от времени измельчения

С увеличением продолжительности измельчения выше 3 – 4 мин (SmCo_5 и $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ соответственно), вследствие «наклёпа» образуются конгломераты частиц, что ухудшает текстуруемость порошков и создаёт возможность изменения направления лёгкого намагничивания в поверхностном деформированном слое частиц. Всё это приводит к уменьшению значений коэрцитивной силы и остаточной намагниченности.

К началу исследований, результаты которых рассмотрены выше, были известны лишь некоторые закономерности изменения магнитных характеристик порошков при измельчении.

Задача данной работы заключалась в проведении полных исследований на серийном высокопроизводительном оборудовании, предназначенном для

Таблица 2

Оптимальные режимы получения порошков магнитных сплавов

| Тип мельницы | Марка | Время измельчения, мин | | | | | | |
|--------------------------------|-------|------------------------|---|-----------------|-----------------------------|-----------------|---|-----------------------------|
| | | Тип сплава | | | | Восстановленный | | |
| | | SmCo_5 | $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ | PrCo_5 | $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ | SmCo_5 | $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ | $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ |
| Вибрационная М:Ш:Ж=3:9:1 | М-10 | 105 | 95 | 95 | 100 | 30 | 25 | 35 |
| Планетарная М:Ш:Ж=1:10:1 | М-44 | 9 | 8 | 8 | 9 | 3 | 3 | 5 |
| Эксцентриновая М:Ш:Ж=1:10:1 | М-4 | 25 | 20 | 20 | 30 | 12 | 10 | 15 |
| Валковая М:Ш:Ж=1:10:1 | МА-40 | 2880 | 2880 | – | – | – | – | – |

ПРИМЕЧАНИЕ. М – масса сплава; Ш – масса шаров; Ж – масса жидкости.

промышленного изготовления магнитов с разработкой конкретных рекомендаций и внедрением их в производство.

В результате проведённых нами исследований для разных типов помольного оборудования, состава сплавов и типа порошка нами установлены оптимальные режимы измельчения (табл. 2), которые успешно внедрены в промышленность и используются в лабораторных исследованиях.

Выводы

1. Порошки, полученные методом восстановления оксидов, имеют преимущественно неправильную форму, причём форма порошка в основном определяется формой исходного порошка кобальта. Частицы порошков представляют собой пористые конгломераты неопределённой формы с размерами частиц до 40 мкм. Порошки сплавов SmCo_5 и $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ – однофазны, сплавы $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ – двухфазны.

2. Порошки сплавов, полученных сплавлением компонентов с последующим дроблением и измельчением, имеют осколочную форму и их строение, структура в основном зависят от типа, характера и интенсивности размола применяемого размольного оборудования. Измельчение истиранием в валковых и планетарных мельницах придаёт частицам более сферическую форму, чем при измельчении в вибрационной мельнице.

3. Наибольшей насыпной плотностью и плотностью после утряски, обладают порошки, полученные гидридно-кальциевым методом. Наименьшей, полученные в планетарной мельнице.

4. Обращает на себя внимание отсутствие текучести у порошков редкоземельных магнитных сплавов. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке автоматического прессования на прессах-автоматах.

5. Полученные данные по пикнометрической плотности, относительной насыпной плотности и плотности по утряске позволяют грамотно рассчитать размеры пресс-форм для прессования магнитных порошков с минимальными допусками для обработки.

Литература

1. Станолевич Г. П., Федосеев Н. В., Тимаков С. А., Борисов С. Л. Устойчивость редкоземельных магнитов к ударной нагрузке // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2014. – Т. 139. – № 2. – С. 35 – 43.
2. Либенсон Г. А. Основы порошковой металлургии / Г. А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1987. – С. 115 – 124.
3. Станолевич Г. П. Получение редкоземельных магнитных сплавов методом металлотермии // Технический прогресс в атомной промышленности. – 1983. – № 3/3. – С. 29 – 38.
4. Дзনেладзе Ж. И., Щеголева Р. П., Голубева Л. С. Порошковая металлургия стали и сплавов / Ж. И. Дзনেладзе и др. – М.: Металлургия, 1978. – 264 с.
5. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия / С. С. Кипарисов, Г. А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1972. – С. 527.
6. Herget C, Domazer H. G. Methods for the production of Rare Earth-3d Metal alloys // Goldschmidt informiert. – 1975. – № 35б. – Pp. 3 – 33.

Поступила в редакцию 18. 12. 2015

Геннадий Петрович Станолевич, д-р техн. наук, начальник лаборатории, т. (495)366-32-11.

Николай Владимирович Федосеев, начальник группы контроля, т. (495) 366-01-44.

Сергей Александрович Тимаков, инженер-технолог, т. (495) 366-32-22.

*Сергей Леонидович Борисов, инженер-технолог, т. (495) 366-32-22.
(АО «Корпорация ВНИИЭМ»).*

PHYSICAL and PROCESSING PROPERTIES of MAGNETIC RARE-EARTH ALLOY POWDERS

**G.P. Stanolevich, N.V. Fedoseev,
S.A. Timakov, S.L. Borisov**

Obtaining of magnetic Rare-Earth alloy powders from SmCo_5 and $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ compositions by metallurgy and direct fusion of initial components, followed by grinding using different mills, are considered in the article. Powders obtained by oxide repair mostly have irregular shapes, generally determined by the shape of initial cobalt powder. Powder particles, which size could be up to 40 micron, are porous conglomerates of irregular shape. SmCo_5 and $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ alloy powders are single-phase alloys, alloys $\text{Sm}_2\text{Me}_{17}$ are two-phase alloys. Alloy powders obtained by component fusion, followed by crushing and milling, have fission form; their composition, structure depends generally on type, character and milling quality provided by the milling facilities. Attrition grinding in roller and planetary mills forms more spherical particles than

grinding in jar mills. Physical and processing properties of magnetic alloy powders, obtained using different methods, such as magnet alloy powder shape and size, powder phase composition and structure, density, pore volume, grain-size composition, ballast content, original density and density after bumping-down, magnetic properties of powders obtained in mills of different types, and their effects on magnetic and structural behavior of permanent magnets are specified. This has made possible to develop high yield technology for production of SmCo₅ and Sm₂Co₁₇ alloys magnets bearing high magnetic properties.

Key word: *powders, particles, permanent magnets, grinding, density.*

List of References

1. Stanolevich G. P., Fedoseev N. V., Timakov S. A., Borisov S. L. Rare-Earth magnets' stability to shock loading // Issues of Electromechanics. VNIIEM Works. – 2014. – Vol. 139. – No. 2 – Pp. 35 – 43.
2. Libenson G. A. Principles of powder metallurgy / G. A. Libenson. – Moscow: Metallurgiya, 1987. – Pp. 115 – 124.
3. Stanolevich G. P. Obtaining Rare-Earth magnetic alloys using metallothermy method // Technological advance in nuclear industry. – 1983. – No. 3/3. – Pp. 29–38.
4. Dzneldze Zh. I., Shchegoleva R. P., Golubeva L. S. Powder steel and alloys metallurgy / Zh. I. Dzneldze et. al. – Moscow: Metallurgiya, 1987. – 264 p.
5. Kiparisov S. S., Libenson G. A. Powder metallurgy / S. S. Kiparisov, G. A. Libenson. – Moscow: Metallurgy, 1972. – P. 527.
6. Herget C., Domazer H. G. Methods for the production of Rare Earth-3d Metal alloys // Goldschmidt informiert. – 1975. – № 356. – Pp. 3 – 33.

Gennadiy Petrovich Stanolevich, D. Sc. (Tech.),

Head of Laboratory.

Tel.: (495)366-32-11.

Nikolay Vladimirovich Fedoseev, Head of Control Group.

Tel.: (495) 366-01-44.

Sergey Alexandrovich Timakov, Engineer-Technologist.

Tel.: (495) 366-32-22.

Sergey Leonidovich Borisov, Engineer-Technologist.

Tel.: (495) 366-32-22.

(JC 'VNIIEM Corporation').